CORSO
DI
FISICA MEDICA

COMPILATO

DA

OSWALDO CASALI

PROFESSORE NELLA LIBERA UNIVERSITÀ DI CAMERINO

Opera illustrata con 43 Tavole in litografia.

1878

DITTA G. B. PARAVIA E COMP.

ROMA - TORINO - MILANO - FIRENZE

e presso i Successori Sartori in Camerino.

AVVERTENZA

Nominato Professore di Fisica per la Facoltà Medica di questa Università, fui consigliato da' miei illustri Colleghi a dare lezioni non di Fisica generale, ma di Fisica applicata all'arte salutare. Condiscesi alle loro brame, e poichè mancava un testo di scuola italiano, fui costretto a compilare il presente *Corso*, desumendo la materia dalle opere straniere e specialmente da quelle di Gréhant, di Wundt, di Desplatz e Garriel.

Animato dal parere di dotti personaggi ardisco pubblicare per la stampa il mio lavoro, che solamente io aveva destinato ad uso de' miei scolari.

Se mi verrà concesso di essere con ciò utile ai giovani studenti di Medicina, ai quali intendo dedicare questo libro, e se il mio esempio ecciterà qualcuno dei tanti Fisici valenti, che onorano la patria nostra, a comporre un'opera di Fisica Medica, la quale meglio della presente compilazione corrisponda al lungo e vivo desiderio dei Medici e Fisiologi italiani, io mi reputerò perfettamente compensato della sostenuta fatica.

Camerino, Agosto 1877.

OSWALDO CASALI.

CORSO DI FISICA MEDICA

NOZIONI PRELIMINARI

1. *Che intendasi per Fisica* — 2. *Materia e corpi* — 3. *Triplice stato di aggregazione dei corpi* — 4. *Loro proprietà generali* — *Estensione* — 5. *Verniero* — 6. *Divisibilità* — 7. *Atomi* — 8. *Compressibilità e porosità* — 9. *Incompenetrabilità* — 10. *Elasticità* — 11. *Inerzia* — 12. *Principali scienze naturali* — 13. *Osservazioni ed esperimenti* — 14. *Definizione della Fisica* — 15. *Principali sue parti.*

1. Che intendasi per Fisica. — Dal greco vocabolo *Physis* (natura) viene la parola *Fisica*, che è il nome, il quale dassi alla *scienza della natura*, intendendosi per natura l'aggregato dei corpi, che costituiscono l'universo sensibile.

2. Materia e corpi. — Tutto ciò che può agire nei nostri sensi, dicesi *materia*, ed una parte limitata di materia appellasi *corpo*. Se un corpo si raffreddi, diminuisce di volume: ma questo si aumenta, se il corpo venga a riscaldarsi. Dal primo fatto si deduce che le molecole ossiano le piccole particelle materiali, che formano il corpo, sono dotate di una forza, che dicesi *attrazione molecolare*, per la quale esse molecole a vicenda si attirano: dal secondo si ricava, che le molecole medesime sono fornite di una forza ripulsiva proveniente dal calorico, per la quale tendono ad allontanarsi fra loro.

3. Triplice stato di aggregazione dei corpi. — Dal vario rapporto, che passa tra le forze attrattiva e ripulsiva, che hanno luogo nei corpi, nasce il triplice stato di aggregazione di questi. Invero se in un corpo l'attrazione molecolare prevalga alla ripulsione calorifera in modo che le particelle di esso siano fra loro aderenti, e vi abbisogni una forza più o meno grande per separarle, il corpo è *solido*, e sua caratteristica è il conservare la propria figura. Che se la ripulsione sia pochissimo inferiore all'attrazione in guisa che le molecole, quantunque un poco aderenti fra loro, possano scivolare le une sulle altre, allora il corpo è liquido,

e sua proprietà è il prender sempre la forma del recipiente, in cui è contenuto. In fine se la ripulsione superi l'attrazione, sicchè le molecole del corpo tendano ad allontanarsi sempre più tra loro, il corpo è *gassoso* od *aeriforme*, e sua prerogativa è l'espandersi sempre più, quando non sia perfettamente in un recipiente racchiuso.

4. Principali proprietà generali dei corpi. — Estensione. — Molte sono le proprietà generali dei corpi, delle quali indicheremo le principali. Chiamasi *estensione* la proprietà, che ha ciascun corpo di occupare una parte limitata dello spazio, onde quello dicesi tanto più esteso, quanto maggiore è la parte dello spazio che occupa. L'estensione di un corpo ha sempre le tre dimensioni *lunghezza*, *larghezza*, ed *ertezza*, e queste si sogliono misurare con un regolo diviso in decimetri, centimetri e millimetri, trascurandosi per lo più le frazioni di millimetro. Quando poi si esiga grande precisione nella misura, come spesso avviene in anatomia, per avere le frazioni di millimetro deve farsi uso del *nonio* o *verniero*.

5. Verniero. — Questo apparato dovuto a Vernier consiste in un piccolo regolo ED (fig. 1.) lungo 9 millimetri e diviso in 10 parti eguali, il quale può scorrere lungo un altro regolo AB diviso in decimetri, centimetri e millimetri. Suppongasi di dovere misurare la lunghezza dell'oggetto LD, e pongasi il caso, che quest'ultimo corpo termini col suo estremo D tra una divisione e l'altra del regolo BA. Si tratta di misurare questa frazione di millimetro. Si faccia a tal uopo scorrere il verniero ED in modo che il suo estremo D tocchi l'estremo del corpo, che si ha da misurare, e si osservi quale divisione del nonio coincide con una divisione del regolo. Immaginiamo che tale coincidenza avvenga nella divisione *m* 4, a partire da D. È chiaro, che essendo la distanza tra una divisione e l'altra del regolo grande eguale ad un millimetro, e la distanza tra una divisione e l'altra del verniero eguale a 9/10 di millimetro, la distanza che passa tra la divisione inferiore alla *m* del verniero e la divisione prossima inferiore del regolo sarà di 1/10 di millimetro, quella che intercede tra la successiva del nonio e la successiva del regolo sarà di 2/10, e così via via, Quindi è, che la distanza tra l'estremo del verniero e la divisione del regolo, che sta immediatamente sotto alla testa di LD, sarà di 4/10 di millimetri: ecco misurata perfettamente la frazione. Si comprende che facendo lungo il verniero 99 millimetri, e divisolo in 100 parti, per mezzo di questo si potrebbero conoscere i centesimi di millimetro.

6. Divisibilità. — Essendo tutti i corpi estesi, possono essere divisi e suddivisi in più parti; ond'è che la *divisibilità* è un'altra proprietà generale dei corpi. Si domanda se questa è finita od illimitata. Per ben rispondere conviene distinguere la divisibilità *mentale* o *geometrica* dello spazio occupato dal corpo, e da eseguirsi colla sola mente dalla *reale* o *fisica*, che da noi si può realmente effettuare nel corpo. La prima è illimitata, non potendo la nostra mente giungere ad un punto, in cui veda l'impossibilità di procedere ad una ulteriore divisione. Di questa verità si sogliono dare

le due seguenti prove; 1° Si abbiano (fig. 2) due linee parallele indefinite AB, CD, e tra queste si ponga un oggetto qualunque MN, ed immaginando fissato in P l'estremo di un coltello girevole intorno a questo medesimo punto, con esso si supponga tagliare il corpo MN con condizione, che la direzione dei tagli vada sempre a terminare nei vari punti z, x, y... della parallela inferiore. Essendo quest'ultima indefinita, chiaro risulta, potersi condurre infiniti tagli, che anderanno sempre a sezionare MN, il quale allora solo non sarebbe più diviso, quando la direzione del taglio coincidesse colla parallela superiore, il che avrebbe luogo, allorchè questa parallela prolungata toccasse in un punto l'inferiore, ciò che è impossibile. 2° Immaginiamo di avere diviso e suddiviso un corpo in quante più parti ci sia stato possibile, in modo che non si abbiano più mezzi di progredire ad una ulteriore divisione. Questa nuova divisione dovrà dirsi in se stessa impossibile? No certamente. Difatti si considerino due parti ottenute nell'ultima effettuata divisione: queste prima di essere tra di loro separate si toccavano in tutta la loro estensione, ovvero in alcuni soli punti? Non può dirsi il primo, perchè in questo caso le due parti si sarebbero compenetrate tra loro, il che vedremo (9) essere impossibile; dunque dovremo dire, che prima dell'ultima divisione le parti in alcuni punti si toccavano, in altri no. Ma se la cosa è così, potremo immaginare di progredire ad altra divisione, separando le parti, che si toccavano, da quelle che non si toccavano; e poichè un tal discorso può sempre ripetersi, si conchiude, la divisibilità geometrica non avere limiti. Al contrario è limitata la divisibilità fisica e reale. Potremo difatti spezzare un corpo, suddividerlo, spolverizzarlo: finalmente giungeremo ad avere particelle così piccole, da non poterle suddividere di nuovo nè con mezzi meccanici, nè con mezzi chimici. Quanto poi siano remoti i limiti della divisibilità, più fatti lo dimostrano. Una goccia di una soluzione d'indaco è capace di tingere più litri di acqua: un grammo di muschio può per più mesi spandere odore in un appartamento senza che perda sensibilmente di peso. Si osservino quelle miriadi di animaletti, che popolano l'aria e l'acqua, e che non possono scorgersi senza l'aiuto di potentissimi microscopii. Si vedrà, che ognuno di questi esseri tanto piccolo in se stesso è pure provvisto di organi e di visceri, e si dovrà conchiudere essere estrema la tenuità della materia nelle parti di questo tutto sommamente piccolo ed invisibile.

7. Atomi. — Le ultime particelle dei corpi, che non possono nè fisicamente, nè chimicamente essere suddivise, si appellano *atomi*. Questi, unendosi fra di loro, formano le molecole, le quali, aggruppandosi insieme, costituiscono i corpi. Gli atomi di una sostanza sono diversi da quelli di un'altra. Si può qui domandare: gli atomi sono per loro natura indecomponibili, o pure sono costituiti da altre particelle più piccole? Molti fisici moderni, e tra questi l'illustre P. Secchi, sono di opinione, che gli atomi chimici, quantunque non si possano da noi decomporre, pure siano formati di altri atomi *primitivi*, e dicono, che, se tutti i corpi si potessero sciogliere in questi atomi primitivi, essi si vedrebbero ridotti ad una identica materia, la quale secondo molti sarebbe l'*etere*, dalle

cui vibrazioni, come dirassi (492, 734) nascono i fenomeni colorifici e luminosi. Secondo i detti fisici gli atomi eterei sono stati creati in moto, moto che non si distrugge, ma solo si modifica allorquando essi atomi si uniscono per formare gli atomi chimici, i quali diversificano tra di loro per il vario numero degli atomi primitivi, di cui sono formati e per il vario moto, che questi ultimi hanno.

8. Compressibilità e porosità. — La *compressibilità* è quella proprietà, per la quale un corpo sottoposto ad una pressione diminuisce di volume. Non è questa eguale in tutti i corpi, ma è massima nei gas, media nei solidi, minima nei liquidi. Che se un corpo qualunque, assoggettato ad una pressione, più o meno si comprime, ciò prova che le molecole, dalle quali è costituito, non sono fra di loro a perfetto contatto, ma lasciano degli interstizii, che si appellano *pori*. È adunque la *porosità* un'altra proprietà generale. Oltre a questi pori invisibili, che trovansi in ogni corpo, molte sostanze, come la pomice e la spugna, hanno cavità o pori maggiori, dei quali non intendiamo parlare.

9. Incompenetrabilità. — È l'*incompenetrabilità* quella proprietà dei corpi, per la quale un corpo non può occupare il luogo occupato contemporaneamente da un altro. Anche i gas sono incompenetrabili, e ce ne accertiamo collo spingere uno stantuffo entro ad un tubo chiuso in una estremità e pieno di aria o di un'altro gas qualunque. Sul principio il gas addensandosi cede posto all'embolo, ma alfine impedisce a questo l'ulteriore avvanzamento, e lo stantuffo non potrà giammai toccare il fondo del tubo. Sulla incompenetrabilità dell'aria sono basate le campane dei palombari.

10. Elasticità. — Dicesi *elasticità* quella proprietà, per la quale un corpo, a cui siasi fatto cambiare forma per mezzo di una forza esterna, cessata questa, riprende la forma primiera. Se si stiri un filo di gomma elastica, esso si allunga, ma torna ad accorciarsi appena cessa lo stiramento (elasticità di tensione). Una molla di acciaio piegata forzatamente in arco, lasciata libera, si distende di nuovo (elasticità di flessione). Torto un filo metallico, cessata la causa che lo torceva, si distorce (elasticità di torsione). Una palla di avorio compressa si appiana alquanto, ma venuta meno la forza comprimente, essa torna alla forma primiera (elasticità di pressione). Come non avvi corpo perfettamente elastico, così non avvene alcuno, che sia del tutto sfornito di elasticità. Avviene però in alcuni corpi, che se lo sforzo esercitato su di essi è considerevole, la difformazione prodotta persiste: così ad esempio un colpo di martello appiana una palla di piombo, ed un colpo di torchio dà una forma persistente alla moneta.

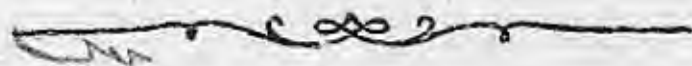
11. Inerzia. — È l'*inerzia* una indifferenza dei corpi al moto ed alla quiete, cosicchè un corpo, che sta fermo, non può da sè mettersi in moto, ma rimarrà sempre in quiete, purchè una forza esterna non lo metta in movimento; e se un corpo è in moto, non può da sè fermarsi, ma seguirà sempre a muoversi, purchè una forza esterna non lo faccia passare alla quiete. Se noi vediamo fermarsi un corpo da noi posto in moto, dovremo ciò attribuire a cause esterne, quali sono gli attriti, la resistenza del mezzo, che tolgono al corpo il moto. I pianeti, che muovonsi nel vuoto, ci

danno un bell'esempio del moto, che incominciato una volta non mai cessa. Questi hanno ricevuto un primo impulso, il cui effetto, il quale sempre persevera, combinato coll'attrazione solare, fa ad essi eseguire nello spazio una rotazione di costante durata.

12. Principali scienze naturali. — Una volta tutto ciò, che sapevasi intorno ai corpi, formava l'oggetto della fisica, ma col procedere del tempo tanto si accrebbero le cognizioni relative alle sostanze corporee, che fu necessario dividere lo studio dei corpi in più scienze, le quali vengono espresse col nome generico di *scienze naturali*. Prime fra queste sono la *storia naturale*, la *chimica*, e la *fisica* presa in istretto senso. La storia naturale studia i corpi riguardo alle loro estrinseche proprietà: ha per oggetto la classificazione dei medesimi, e si divide in tre grandi rami, cioè *mineralogia*, *botanica*, *zoologia*. Invero dei corpi altri sono *organici*, altri *inorganici*: i primi sono quelli, che hanno varie parti dette *organi* diverse fra di loro ed aventi speciali offici; i secondi sono quelli, che di tali organi sono sforniti, e si appellano *minerali*. I corpi organici si suddividono in *vegetali* ed in *animali*, essendo quelli privi di moto spontaneo e di senso, dei quali sono questi dotati. Dei minerali tratta la mineralogia, dei vegetali la botanica, degli animali la zoologia. La chimica studia l'intrinseca natura e costituzione dei corpi, li divide in semplici e composti, e di questi ultimi fa l'analisi e la sintesi. La fisica in fine si occupa di quelle proprietà e di quei fenomeni, che non alterano l'intima natura dei corpi. Ogni fatto con cui manifesta un corpo le sue qualità e modificazioni dicesi *fenomeno*, e questo può essere fisico o chimico. Il fenomeno fisico è quello che non cangia affatto l'intima natura del corpo, in cui si produce, ma fa avere al medesimo uno stato ed una proprietà passeggiera: tali sarebbero il passaggio dell'acqua dallo stato di liquido a quello di solido per sottrazione di colore, ed il passaggio della medesima dallo stato liquido a quello di gas per aumento di temperatura. Il fenomeno chimico al contrario cangia costantemente lo stato e le proprietà dei corpi, alterando l'intima natura di questi, e tale sarebbe il fenomeno presentato da una sbarra di ferro levigata esposta all'umidità: essa si ossida, perde la sua levigatezza e la sua lucentezza, ed in breve tempo l'ossido invade il metallo, che non ha più l'aspetto e la tenacità del ferro.

13. Osservazione ed esperimento. — Allorquando uno scienziato contempla un fenomeno spontaneamente prodotto dalla natura egli fa un'*osservazione*: siccome però i fenomeni naturali o sono complessi, o raramente si ripetono, così a studiarli bene è d'uopo di porre i corpi in ben definite circostanze e condizioni atte a far nascere il fenomeno. Allora ha luogo un *esperimento*. Ad esempio è un fisico esperimento lo stropicciare con panno di lana un bastone di ceralacca per renderlo capace di attirare a se leggeri corpiccioli, la quale proprietà è ben passeggiera. Sarà poi un esperimento chimico, se pongasi dell'ossido di mercurio in un recipiente e si scaldi: rimarrà nel recipiente un liquido, che è il mercurio, e si renderà libero un gas, che è l'ossigeno. Si suole dire, che chi fa un osservazione ascolta la natura, che spontaneamente parla: ma chi fa un'esperimento interroga la natura, e l'obbliga a rispondere.

14. Definizione della fisica. — Dal detto chiaro apparisce potersi definire la fisica lo studio dei fenomeni, che si manifestano nei corpi terrestri ed inorganici senza modificazione della loro intima natura. Diciamo dei *corpi terrestri*, perchè i fenomeni presentati dagli astri appartengono all'astronomia: aggiungiamo *ed inorganici*, perchè i fenomeni, che si osservano nelle piante e negli animali, spettano alla botanica ed alla zoologia: colle ultime parole poi distinguiamo l'oggetto della fisica da quello della chimica.

15. Principali parti della fisica. — La fisica deve occuparsi dei corpi solidi, liquidi e gassosi; deve trattare ancora dell'etere, ossia della materia ridotta allo stato d'imponderabile (7), quindi è, che essa dopo di aver date le leggi dell'equilibrio e del moto dei corpi nella *meccanica*, applica ai solidi le leggi dell'equilibrio nella *sterostatica* e quelle del moto nella *sterodinamica*; applica le medesime leggi ai liquidi nell'*idrostatica* e nell'*idrodinamica*. Si occupa poi dei gas nella *pneumatica*, discorre dei suoni nell' *acustica*, e relativamente alla materia imponderabile parla dei fenomeni elettrici nella *elettrologia*, dei calorifici nella *termologia* e dei luminosi nell'*ottica*. Esponendo noi queste varie parti della fisica, svolgeremo a preferenza le teorie, che hanno più stretta relazione coll'arte salutare.

MECCANICA

STEROSTATICA, STERODINAMICA

CAPO I.

DEL MOTO IN GENERE – LEGGI DEL MOTO UNIFORME

16. Moto assoluto e relativo. — Il passaggio di un corpo da un punto dello spazio ad un altro dicesi *moto*. Siccome poi lo spazio è o *assoluto*, quando si consideri senza limiti, o *relativo*, quando sia limitato da confini; così il moto è od assoluto o relativo, secondo che il passaggio da un punto all'altro si riferisce o allo spazio assoluto, o ad uno spazio relativo. Noi ci troviamo sempre in moto assoluto, perchè la terra cambia sempre di posto relativamente allo spazio assoluto e noi ci moviamo con essa. Chi è trasportato da una carrozza può trovarsi in quiete relativa riguardo allo spazio limitato dalle pareti del veicolo, mentre è in moto relativo riguardo alla strada, che il veicolo percorre.

17. Elementi del moto. – Moto uniforme e vario. — Gli elementi, che si debbono studiare nel moto sono la *forza* ossia la causa del moto, la *direzione* di questo, il *tempo* che dura, lo *spazio* che il mobile percorre, e la *velocità*, colla quale parola s'intende lo spazio che il corpo è capace di percorrere in una unità di tempo in modo che ad esempio si suol dire, una locomotiva avere una velocità di 40 o 50 chilometri all'ora. Se un corpo si muove sempre con una costante velocità, percorrerà spazii eguali in tempi eguali, ed il suo moto dicesi *uniforme;* ma se la velocità va cambiando cosicchè il mobile in tempi eguali percorra spazii disuguali, il moto è *vario*. La velocità può andare variando in mille modi diversi, e perciò sono senza numero le specie del moto vario; ma noi ne considereremo due sole, cioè il moto *uniformemente accelerato* ed il moto *uniformemente ritardato*. Il primo di questi nasce da una forza continua e costante, cioè sempre eguale a se stessa, e che dicesi *forza acceleratrice costante*, per

la quale il mobile in istanti eguali e successivi riceve eguali aumenti di velocità. Viceversa si ha il secondo, quando la velocità in istanti eguali e successivi va egualmente decrescendo fino a divenire nulla, il che ha luogo quando il corpo è animato da una velocità, la quale viene successivamente e per gradi sempre eguali diminuita e distrutta da una contraria forza continua ed eguale sempre a se stessa, che suole appellarsi *forza costante ritardatrice.*

18. Leggi del moto uniforme. — Noi vedremo (52), che i corpi per la gravità cadono verso il centro della terra con moto uniformemente accelerato: riserbandoci pertanto di parlare del moto uniformemente accelerato e del moto uniformente ritardato, allorchè si tratterà della caduta dei corpi gravi, ci occuperemo ora delle leggi del moto uniforme. Essendo, come poco fa abbiamo detto, la velocità lo spazio che un corpo può percorrere in una unità di tempo, e percorrendo il mobile con moto uniforme spazii eguali in tempi eguali, ne consegue, che esso mobile in due, in tre....... unità di tempo percorrerà uno spazio due, tre....... volte maggiore di quello percorso nella prima unità di tempo, e che esprime la sua velocità. Ond'è che se chiamiamo con S lo spazio percorso con moto uniforme da un mobile animato da una velocità V in un tempo T, avremo la formola $S = V \times T$, dalla quale si ricavano queste due altre $V = \frac{S}{T}$, $T = \frac{S}{V}$. Queste ci dicono, che nel moto uniforme 1° lo spazio è eguale al prodotto della velocità per il tempo; 2° la velocità è eguale allo spazio diviso per il tempo, e 3° il tempo è eguale allo spazio diviso per la velocità. Si abbiano ora due corpi animati dalle velocità V, v, e che nei tempi T, t percorrano rispettivamente gli spazii S, s; risulta dal detto, che si avrà $S = V \times T$, $s = v \times t$, le quali equazioni ci danno la proporzione seguente

$$S : s = V \times T : v \times t. \qquad (a).$$

Se le velocità V, v sono eguali, questa proporzione addiviene

$$S : s = T : t,$$

ma se invece sia $T = t$, allora la proporzione (a) passa ad essere

$$S : s = V : v;$$

in fine se diverse siano le velocità e diversi i tempi, ma siano eguali gli spazii S, s, ricaveremo dalla (a) $V T = v t$, la quale equazione posta in proporzione ci porge

$$V : v = t : T,$$

ond'è che per il moto uniforme potremo stabilire le seguenti leggi: 1ª Gli spazii percorsi da due mobili con moto uniforme stanno fra loro nella ragione composta diretta delle velocità e dei tempi: 2ª Se le velocità sono eguali, gli spazii sono proporzionali ai tempi: 3ª Se i tempi sono eguali, gli spazii sono proporzionali alle velocità: 4ª Se gli spazii sono eguali, le velocità stanno fra di loro nella ragione inversa dei tempi.

CAPO II.

NOZIONI SULLE FORZE

---

19. *Forza attuale e forza potenziale* — 20. *Quantità di moto* — 21. *Misura delle forze* — 22. *Dinamometro* — 23. *Rappresentazione delle forze con linee* — 24. *Componenti e risultante* — 25. *Composizione delle forze coincidenti* — 26. *Composizione delle forze concorrenti ad angolo* — 27. *Composizione delle forze parallele* — 28. *Decomposizione delle forze.*

19. Forza attuale e forza potenziale. — Dicesi *forza* quella potenza qualunque sia che cambia, o tende a cambiare lo stato di un corpo, facendolo passare dalla quiete al moto, o dal moto alla quiete. Si dice che la forza *cambia* o *tende a cambiare* lo stato del corpo, perchè può essere, che la forza non ottenga l'effetto di dare il moto al corpo o di fermarlo, o perchè essa forza è piccola, o perchè si esercita sopra di un corpo sul quale agiscono contemporaneamente altre forze, colle quali si elide. In questo ultimo caso dicesi *equilibrio* lo stato del corpo. Allorchè una forza cambia lo stato del corpo, viene da Rankine chiamata *forza od energia attuale*, mentre viene detta *forza od energia potenziale*, quando solamente tende a cambiarlo.

20. Quantità di moto. — Le forze si sogliono misurare dall'effetto, che possono produrre, il quale effetto consiste nel comunicare una data ed equale velocità a ciascuna molecola del mobile: cioè l'effetto della forza motrice è eguale alla velocità comunicata ad una molecola, la quale velocità è eguale a quella dell'intero mobile, moltiplicata per il numero delle molecole, ossia per la massa del corpo. Diciamo adunque che una forza attuale è eguale alla velocità dalla medesima impressa al corpo moltiplicata per la massa di questo, il qual prodotto appellasi *quantità di moto.*

21. Misura delle forze. — È molto meglio però misurare le forze, prendendo per unità di misura il chilogramma: e ragionevole e giusto deve dirsi il confrontare la forza ad un peso, poichè è ben manifesto, che ad una forza, di qualunque specie sia, sempre può sostituirsi un peso, che produca il medesimo effetto. Per ridurre poi una forza a chilogrammi si fa uso del seguente apparato detto *dinamometro.*

22. Dinamometro. — Questo istrumento può avere svariatissime forme: noi ci limiteremo a descrivere le principali. Una lamina di acciaio temprato AB (fig. 3) sia fissata orizzontalmente con un suo estremo A ad un muro e porti all'altro estremo B un uncino. Se in questo si ponga un peso, la lamina s'incurverà, ed il punto B si abbasserà tanto più, quanto più grande sarà il peso ad esso applicato. Ponendo in B dei pesi sempre crescenti 1, 2, 3... chilogrammi, si notano nell'asta verticale MN i punti dove B si ferma.

Quando si vuole misurare una forza, questa si applica in B; si vede a quale divisione dell'asta si ferma B, e così si conosce a quanti chilogrammi corrisponda la forza medesima. È assai migliore il dinamometro seguente (fig. 4). Una lamina di acciaio dotata di sufficiente elasticità è ricurva in *o* e porta ai due estremi due laminette *a*, *b*. Nel punto *m* della lamina superiore è saldata un'asta metallica *mc* curva alquanto in arco, la quale passa liberamente per un'apertura, che trovasi nella laminetta *b*, ed ha in *c* un uncino. Una simile asta *bg* è saldata nella laminetta *b*, passa liberamente in un foro fatto nella lamina *a*, e porta nel suo estremo superiore un secondo uncino *d*. Si sospenda l'apparato per mezzo di questo secondo uncino ad un punto fisso, e dall'altro *c* si faccia portare un peso: la lamina *aob* s'incurverà, ed il ramo *ao* si fermerà in un certo punto dell'arco *gb*. Sospendendo in *g* pesi sempre maggiori, come nel precedente dinamometro, si potrà fare la graduazione nell'arco *gb*. Si usa ancora un altro dinamometro inventato da Poncelet, il quale si compone di due lamine di acciaio AB, CD (fig. 5) piegate ad arco di cerchio a lungo raggio, e congiunte fra loro per mezzo di due verghe metalliche articolate nei punti di congiunzione A, C, B, D. Alla metà di AB sta attaccato un anello S, ed un altro M alla metà di CD. Due verghe parallele *mn*, *qp* sono saldate alla metà degli archi, la prima cioè nell'arco superiore, e l'altra nell'inferiore. Fisso l'apparato in G ed attaccato un peso in M, i due archi si curveranno di più e le due aste parallele scorreranno l'una sull'altra. La testa *n* della spranga *mn* porta un piccolo indice. Gravando M di pesi successivamente crescenti, si notano i punti ai quali il detto indice corrisponde nella verga *pq*, e così rimane graduato l'istrumento. Si suole far portare alla sommità, dell'asta *pq* uno stilo *v*, il quale va a toccare la superficie di un cilindro Q, che per mezzo di un macchinismo di orologeria gira con moto uniforme intorno al proprio asse. Lo stilo lascia una traccia in un foglio di carta involto sul detto cilindro, ed in tal modo si possono misurare gli sforzi esercitati da un motore nei singoli istanti di un dato tempo. Il dinamometro di Poncelet può servire per misurare ancora le forze di pressione. Si collochi l'apparato in modo che BD tocchi il suolo: se si gravi AC di un peso, le due lamine AB, CD s'incurveranno di più secondo il peso da cui è gravato l'istrumento: bisogna però fare una graduazione apposita con pesi sempre crescenti collocati sopra AC. I medici fanno uso di dinamometri di una delle due ultime forme, ma piccoli in modo che le due opposte lamine o verghe possano essere strette da una mano. In tal modo si potrà misurare lo sforzo, che può fare una mano nello stringere, il che è assai utile nella cura delle paralisi parziali o generali.

23. Modo di rappresentare le forze con linee. — In meccanica si sogliono rappresentare le forze con linee rette. Si supponga d'indicare con una linea di una data lunghezza, per esempio di un millimetro, l'unità di misura delle forze, ossia la forza di un chilogrammo; una forza di 2, 3, 4..... chilogrammi verrà allora rappresentata da una linea lunga 2, 3, 4... millimetri. Queste linee hanno il vantaggio d'indicare oltre alla grandezza delle forze anche

la loro direzione, ossia la direzione secondo cui si moverebbe il corpo animato dalle medesime.

24. Componenti e risultante. – Quando due forze agiscono contemporaneamente su di un corpo, due casi si possono dare, cioè o che le forze si elidano, o che non si distruggano a vicenda totalmente. Nel primo caso, come notammo (19) si ha l'equilibrio. Di questo abbiamo un continuo esempio nelle nostre membra. Difatti i muscoli tendono a contrarsi, ma lo sforzo di ciascun muscolo in particolare è distrutto da quello del muscolo antagonista del primo. Si ha ancora equilibrio quando la volontà ordina contemporaneamente a tutti i muscoli di un membro di contrarsi. Ma supponiamo, che agendo nel medesimo tempo più forze in un corpo, queste non si distruggano del tutto, e per ciò non nasca equilibrio. Non potendo in questo caso muoversi il corpo nel tempo stesso in varie direzioni, non procederà, ordinariamente parlando, nella direzione di alcuna delle forze, ma si muoverà con una velocità e con una direzione, che hanno relazione al complesso delle forze medesime, come se agisse su di esso un'unica forza. Ciò posto, diciamo che le forze, le quali simultaneamente agiscono sul corpo, prendono il nome di *componenti*, appellandosi *risultante* l'unica forza, che agendo sola produrrebbe il medesimo effetto, che viene prodotto dal concorso delle componenti. Se date le componenti si cerca la loro risultante, il problema si dice *composizione delle forze:* si dice poi *decomposizione delle forze* il problema contrario, per il quale data la risultante, si chiede di trovare le componenti.

25. Composizione delle forze coincidenti. — Sia un corpo contemporaneamente animato da due forze, le cui direzioni siano *coincidenti*, cioè coincidano in una medesima retta. In tal caso, 1° se le due forze sono dirette in un medesimo senso, si comprende, che cospirando a produrre un medesimo effetto, la risultante deve essere eguale alla loro somma: 2° Se le due componenti sono eguali ed agiscono in direzioni contrarie, non essendovi ragione per cui una debba prevalere sull'altra, scambievolmente si elideranno, la risultante sarà zero, ed il corpo rimarrà in equilibrio: 3° Se le due forze sono disuguali ed agiscono in senso opposto, ben si vede, che la risultante deve essere eguale alla loro differenza, e che il moto deve seguire nella direzione della forza maggiore.

26. Composizione delle forze concorrenti ad angolo. — Se due forze siano applicate ad un punto in direzioni formanti un angolo qualunque, la risultante verrà rappresentata dalla diagonale del parallelogrammo, che abbia per due lati attigui le due rette esprimenti la grandezza e direzione delle due componenti. Si supponga difatti che il punto A (fig. 6) sia contemporaneamente animato dalle forze F e f rappresentate dalle rette AB, AD, tali cioè che se la F agisse sola, in un tempo t porterebbe il corpo da A in B, e se f agisse sola, nel medesimo tempo t trasporterebbe il corpo da A in D: avremo da dimostrare, che agendo le due forze simultaneamente il mobile nel tempo t deve percorrere la diagonale AC del parallelogrammo ABCD. Si avverta, che la forza F, agendo parallelamente a DC, non può avvicinare il corpo A a DC, nè da questa linea può allontanarlo. Siccome adunque la forza f vuol far

percorrere al corpo A nel tempo t uno spazio eguale ad AD, non potrà la forza F impedire che ciò succeda, non potrà cioè fare che dopo il tempo t il mobile si trovi o al disopra o al disotto di D, ma solo potrà ottenere, che A al termine del detto tempo invece di trovarsi in D, si trovi in un altro punto della retta DC, poichè essa può solo produrre uno spostamento laterale. In simil modo, agendo la forza f parallelamente a BC non potrà nè avvicinare a BC, nè allontanarne il mobile A; ond'è che siccome la forza F vuole fare scorrere al mobile uno spazio eguale ad AB nel tempo t, la forza f non potrà fare altro, che costringere il mobile a trovarsi dopo il tempo t, non in B ma in un altro punto della linea BC. Adunque agendo insieme le due forze, il mobile dovrà trovarsi allo spirare di t in un punto comune alle due rette DC, BC, quindi si troverà in C. Il mobile per tanto partirà da A e durante il tempo t si anderà sempre più avvicinando a DC ed a BC in modo, che in un decimo di t si sarà appressato a DC per un decimo di AD, e si sarà avvicinato a BC per un decimo di AB; in due decimi di t si sarà appressato a DC per due decimi di AD, ed a BC per due decimi di AB... Da ciò risulta che nel tempo t esso mobile deve percorrere la diagonale AC, il che è quanto dire essere la diagonale AC la risultante delle componenti AB, AD.

Facile cosa ora è lo studiare le relazioni che passano fra le componenti e la risultante. Si abbiano le componenti $P=MD$, $Q=MB$ (fig. 7.) sarà la risultante $R=ME$; onde si potrà fare

$$P:Q:R=DM:MB:ME$$

e per essere $MD=BE$, sarà ancora

$$P:Q:R=BE:MB:ME \qquad (a)$$

Sapendosi poi dalla trigonometria, che in un triangolo i lati stanno fra loro come i seni degli angoli opposti, si potrà fare

$$BE:MB:ME=\text{Sen.}n:\text{Sen.}p:\text{Sen.}o$$

e per essere $p=m$, $o=\text{Suppl.}\ (m+n)$, sarà pure

$$BE:MB:ME=\text{Sen.}n:\text{Sen.}m:\text{Sen.}\ (m+n) \qquad (b)$$

Dalle proporzioni (a) e (b) si ricava

$$P:Q:R=\text{Sen.}n:\text{Sen.}m:\text{Sen}\ (m+n).$$

Questo c'insegna, che ciascuna delle tre forze è proporzionale al seno dell'angolo formato dalla direzione delle altre due.

Da ciò che si è dimostrato si deduce, che se da un punto qualunque E della risultante si abbassino due perpendicolari EO, EL sulle direzioni delle componenti, queste staranno fra loro nella ragione inversa delle perpendicolari suddette. Invero abbiamo veduto essere

$$P:Q=\text{Sen.}n:\text{Sen.}m.$$

Ma per i triangoli rettangoli MEO, MEL si ha ancora

$$\text{Sen. } m = \frac{EO}{ME}, \text{ Sen. } n = \frac{EL}{ME}$$

Dunque sostituendo nella precedente proporzione questi valori, si otterrà

$$P:Q = \frac{EL}{ME} : \frac{EO}{ME}$$

ed in fine $P:Q = EL:EO.$

Se le componenti non siano due, ma molte, sarà pur facile determinare la risultante. Basterà difatti formare un parallelogrammo coi lati esprimenti le prime due forze; la diagonale di questo esprimerà la risultante di esse. Si forma quindi un altro parallelogrammo colla detta diagonale e colla retta, che indica la terza forza, e la nuova diagonale sarà la risultante delle prime tre forze. Così proseguendo si giungerà ad un'ultima diagonale che sarà la risultante di tutte le componenti date. Si arriva allo stesso risultato col così detto *poligono delle forze*. Il mobile A (fig. 8) sia spinto simultaneamente dalle forze B, C, D, E, dall'estremo della forza B si conduca Bm eguale e parallela ad AC, dall'estremo m la mn eguale e parallela ad AD, dall'estremo n la no parallela ed eguale ad AE e così di seguito se più fossero le forze. Si guidi dal punto A una retta all'estremo dell'ultima parallela: questa sarà la risultante totale, perchè come chiaro apparisce dall'ispezione della figura, con tale costruzione si avrebbe come se fossero stati formati tutti i parallelogrammi e condotte le diagonali, lasciando le linee inutili.

Ma il punto A (fig. 9) sia animato da tre forze B, P, C non esistenti in un medesimo piano: la diagonale AF del parallepipedo, che abbia tre lati attigui eguali alle rette rappresentanti le tre forze, sarà la risultante delle medesime. Invero AH sarà la risultante delle forze P, C. Componendo questa risultante colla terza forza B, la risultante di queste due ultime, ossia delle tre componenti date, verrà ad essere AF diagonale del parallelogrammo AHFB, e diagonale pure del detto parallelepipedo.

27. Composizione delle forze parallele. — A bene intendere la composizione delle forze parallele necessita premettere quanto segue. In un punto qualunque M della linea AB (fig. 10), le cui parti siano tra di loro invariabilmente congiunte si trovi applicata una forza Mo, la direzione della quale coincida colla direzione della retta: si dimostra non portarsi alcuna alterazione al sistema, se questa forza s'immagini applicata in un altro punto qualunque N della retta medesima. Difatti s'intendano aggiunte in N due forze Nx, Ny in direzioni opposte, ciascuna però eguale in intensità ad Mo. È chiaro che l'azione di queste tre forze è eguale a quella dell'unica forza agente in M, perchè le due aggiunte, essendo tra loro eguali e contrarie, si distruggono. Ora invece di dire, che Ny, distrugge Nx, si può dire che distrugge Mo,

ed ecco che senza nulla variare invece di avere una forza applicata in M, si ha la forza medesima applicata in altro punto N.

Ciò notato, passiamo alla composizione delle forze parallele. Ai punti A, B della verga inflessibile AB (fig. 11) siano applicate due forze $P=AT$, $Q=BL$ parallele fra di loro, in direzione perpendicolare alle rette ed agenti in un medesimo senso. Dimostreremo 1° che la risultante è eguale alla somma delle due componenti e parallela alle medesime: 2° che il punto d'applicazione di essa risultante divide la retta AB in parti che sono tra di loro nella ragione inversa delle componenti. Per dimostrare la prima parte s'immaginino aggiunte due forze $S=AS$, $S'=BS'$ eguali e contrarie nei punti A, B; il che non porta alcuna alterazione al sistema. Componendo insieme le forze S, P, si avrà per loro risultante $Y=AY$, e così si avrà ancora $D=BD$ risultante delle forze Q, S'. Prolungate le direzioni di esse due risultanti fino al loro incontro in C, si potranno supporre trasportate in C le risultanti stesse, sicchè siano $CK=AY=Y$, $CZ=BD=D$. Condotta la retta CR parallela alle forze P, Q, si formino i rettangoli CNKX, CN'ZO, ed in tal modo saremo tornati a decomporre la $Y=CK$ nelle $CX=P$, $CN=S$, e la $D=CZ$ nelle $CO=Q$, $CN'=S'$. Ma CN, CN', perchè eguali e contrarie, si distruggono; dunque solamente rimangono applicate in C due forze una eguale a P, l'altra a Q. Ma possiamo supporre di trasportare queste due forze da C in M, e quindi si conchiuderà, che la risultante delle due forze P, Q è applicata in M, è parallela alle due componenti, ed è eguale alla loro somma. Passiamo a dimostrare la seconda parte.

Per la somiglianza dei due triangoli SAY, ACM, e per quella degli altri due BS'D, CBM si hanno le seguenti proporzioni:

$$P:S=CM:AM$$
$$S':Q=MB:CM$$

le quali moltiplicate fra loro danno

$$P\times S':S\times Q=CM\times MB:AM\times CN$$

che ridotta passa ad essere

$$P:Q=MB:AM$$

come volevasi dimostrare.

Che se le due forze parallele agiscono una in senso contrario a quello dell'altra, si deve notare, che per esprimere la diversa direzione, se Q si prende positiva, P deve prendersi negativa; onde in questo caso la risultante E (fig. 12) viene eguale alla differenza delle due componenti. Nulla poi viene mutato in quanto al punto M di sua applicazione, in modo che si ha sempre la proporzione

$$P:Q=MB:AM.$$

Qui poi si avverta, che se le due forze fossero eguali, la risultante sarebbe zero, e nondimeno le forze non si distruggerebbero, perchè non istanno l'una di fronte all'altra, e perciò il sistema roterebbe.

Fin qui abbiamo considerate le forze parallele congiunte alla retta inflessibile ad angolo retto; domandiamo ora: hanno luogo l'istesse leggi se siano le componenti unite alla verga sotto un angolo qualunque? Rispondiamo affermativamente, purchè le forze conservino il loro parallelismo. Difatti (fig. 13) alla retta AB siano applicate le due forze parallele P, Q sotto un angolo obliquo. Si conduca la retta AL perpendicolarmente alla direzione di esse forze. La forza Q si potrà immaginare applicata in L, ed allora la risultante di P, Q sarà R, ed avrassi $R = P + Q$

$$P : Q = LO : AO \qquad (c)$$

Ma si può supporre trasportata la forza R da O in M, ed inoltre per essere MO parallela alla base BL del triangolo BAL, si ha

$$LO : AO = MB : AM.$$

Confrontando quest'ultima proporzione colla (c), se ne deduce

$$P : Q = MB : AM.$$

Ci riescirà ora facile di trovare la risultante di un numero qualunque di forze parallele. Ad esempio nei punti A, B, C, (fig. 14) congiunti fra di loro con verghe inflessibili agiscano le forze parallele P, S, Q. Determiniamo primieramente la risultante di P ed S che sarà la forza $M = P + S$ e collocata in modo che si abbia

$$P : S = IB : AI$$

si congiunga quindi M con Q mediante la retta IC, e si determini la risultante di M, Q che sarà $R = M + Q = P + S + Q$, la quale risultante si troverà collocata in un punto E tale che dia

$$M : Q = EC : EI.$$

28. Decomposizione delle forze. — Se sia data una forza $R = AR$ (fig. 15) agente nel punto A, ed in sua vece se ne volessero sostituire due, che producessero l'istesso effetto della prima, il problema si ridurrebbe a trovare due componenti, di cui AR sia la risultante. Sta a noi il fissare a piacere una di queste componenti: ad esempio si voglia che sia AP. Si congiunga P con R per mezzo della retta PR, e si tiri AQ eguale e parallela a PR: conducendo QR, sarà reso manifesto, essere AQ la seconda componente cercata. Se una di queste componenti venisse col medesimo mezzo decomposta in due, e così via via, si otterrebbe di decomporre la forza primitiva in un numero qualunque di forze.

CAPO III.

MACCHINE

29. Che cosa è macchina. — Intendesi per *macchina* ogni congegno od apparato destinato a trasmettere l'azione di una forza contro qualche ostacolo, o a vincere una resistenza o ad ottenere un movimento in una determinata direzione con dispendio di tempo e risparmio di forza, o con perdita di forza e risparmio di tempo. Le macchine si dividono in semplici e composte, le quali ultime non sono, che un complesso od aggregato delle prime. La forza che si applica alla macchina si dice *potenza*, l'ostacolo che si vuole vincere, od il peso che si vuole sollevare, in una parola l'effetto, che colla macchina si vuole produrre si appella *resistenza*. Non è nostro scopo di parlare di tutte le macchine, ma solamente di alcune, che hanno relazione coll'arte salutare, e relativamente a queste studieremo le condizioni di equilibrio tra la potenza e la resistenza.

30. Leva. — La *leva* è una verga inflessibile di qualunque materia e figura suscettibile ad essere posta in rotazione intorno ad un punto fisso detto *punto di appoggio*, *fulcro*, *ippomoclio*. In un punto di questa verga è applicata la resistenza, ed in un altro agisce la potenza. Tre punti pertanto si debbono considerare nella leva, cioè il fulcro, ed i punti di applicazione della potenza e della resistenza. Secondo la varia disposizione di questi tre punti la leva è o di *primo* o di *secondo* o di *terzo genere*. È la leva di primo genere (fig. 16) quando tra la potenza Q e la resistenza P trovasi il punto di appoggio A (*a*); è di secondo genere se il punto d'applicazione della resistenza trovisi tra gli altri due punti (*b*), ed è finalmente di terzo genere se tra il fulcro ed il punto di applicazione della resistenza si trovi quello della potenza (*c*).

31. Legge di equilibrio di un corpo, che può rotare intorno ad un punto. — A bene intendere l'importante teoria dell'equilibrio nella leva è necessario conoscere la legge di equilibrio di un corpo girevole intorno ad un punto. Sia (fig. 17) NM un corpo fisso in C, intorno al qual punto però possa girare. S'intenda applicata in A una forza, che agisca nella direzione AC passante per il centro di rotazione C. Sarà chiaro, non potere il corpo rotare finchè la forza ha questa direzione, poichè la sua azione rimane distrutta dal punto resistente C. Avrà quindi luogo l'equi-

librio, il quale verrà turbato, ed il corpo incomincerà a rotare, quando la forza, cambiando direzione, cada o a destra o a sinistra di C. Ora si suppongano applicate al punto A due forze P, Q: si avrà equilibrio, quando la loro risultante R passi per il centro C; cioè dovrà essere C un punto della risultante, e quindi se da C si conducano alle direzioni delle due forze le normali CI, C D, si richiederà per l'equilibrio, che abbia luogo la seguente proporzione (26)

$$P : Q = CD : CI$$

o l'equazione $$P \times CI = Q \times CD.$$

Chiamandosi il prodotto di una forza per la sua distanza dal centro di rotazione *momento della forza*, si conchiuderà, richiedersi per l'equilibrio, che il momento di una forza, la quale fa rotare il corpo in un senso, sia eguale al momento dell'altra forza, che tende a farlo girare in direzione opposta. Che se le forze applicate in A siano più di due, si dimostra in matematica, essere necessario per l'equilibrio, che la somma dei momenti delle forze, le quali agiscono alla destra del centro, sia eguale alla somma dei momenti delle forze, che agiscono alla sinistra.

32. Legge di equilibrio nella leva. — Diciamo dopo ciò, che se la potenza e la resistenza in una leva agiscono parallelamente fra di loro (fig. 16), allora avremo equilibrio, quando la risultante della potenza e della resistenza passerà per il fulcro e per ciò secondo la teoria delle forze parallele (27) dovrà essere

$$Q : P = AB : AC$$

da cui si ricava $$Q \times AC = P \times AB.$$

Conosciamo cioè, che per l'equilibrio nella leva si richiede, che la potenza stia alla resistenza nella ragione inversa dei bracci di leva, chiamandosi in ogni caso *bracci di leva* le perpendicolari spiccate dal punto di appoggio e condotte alle direzioni della potenza e della resistenza; o ciò che è lo stesso si richiede, che i momenti della potenza e della resistenza siano eguali fra loro. Che se le direzioni delle due forze siano inclinate fra loro, ricorreremo al principio esposto nel numero precedente, e ci sarà manifesto, richiedersi anche in questo caso per l'equilibrio l'eguaglianza dei due momenti.

Domandiamo adesso: la leva giova o nuoce alla potenza? A bene rispondere si deve considerare separatamente ciascun genere di leva, e sapendo che la potenza e la resistenza star debbono tra di loro nella ragione inversa dei bracci di leva, ci sarà facile dedurre le seguenti conseguenze: 1ª La leva di primo genere, se è a braccia eguali non giova e non nuoce alla potenza: 2ª Se il braccio della potenza è più lungo dell'altro, la leva giova alla potenza: 3ª ma le nuocerà, se sarà più lungo il braccio della resistenza: 4ª Nella leva di secondo genere essendo necessariamente il braccio più lungo quello della potenza, questa sarà sempre coadiuvata da tal leva: 5ª Nella leva di terzo genere riceve sempre nocumento la potenza, perchè il braccio della resistenza è il più lungo. Qui giova osservare, che per avere risparmio di forza nella leva essendo neces-

sario che sia lungo il braccio della potenza e corto quello della resistenza, mentre la prima descrive un lungo arco di cerchio, questa ne percorre uno corto, e quindi si muove più lentamente; onde si verifica, che se vi è risparmio di forza, vi è perdita di tempo. Il contrario succede, quando il braccio della potenza è corto, e lungo quello della resistenza, nel qual caso vi e perdita di forza, ma guadagno di velocità.

33. Applicazione della leva nell'organismo animale. — La leva è molto usata. Quando si porta un fardello, si suole questo legare all'estremo di un bastone, il quale si appoggia alla spalla, sostenendo la mano l'altro estremo, onde si ha una leva di primo genere. Il cortello dei farmacisti è una leva di secondo genere, e leva di terzo genere sono le molle dei focolari. Nell'organismo degli animali si hanno molti esempi di leve, di cui le ossa formano le verghe inflessibili: nelle articolazioni si hanno i punti di appoggio, ed i muscoli sono le potenze. Allorchè l'avambraccio (fig. 18) è piegato ad un angolo retto sul braccio, per distenderlo si contrae il tricipide brachiale, il quale essendo attaccato all'apofisi olecranica viene ad agire come potenza in una leva di primo genere, il cui punto di appoggio è l'articolazione, mentre la resistenza è il peso dell'avambraccio, il qual peso deve immaginarsi come riconcentrato in un punto, del quale parleremo (47) e che dicesi *centro di gravità*. Essendo il braccio della potenza assai più corto di quello della resistenza, vi è perdita di forza, ma in compenso si ha molta speditezza di moto. Come esempio di leva di secondo genere si può citare il movimento, con cui solleviamo il corpo sulla punta del piede (fig. 19). Il punto di appoggio si trova nella parte anteriore del metatarso; la potenza è applicata nella parte posteriore del calcagno per mezzo del tendine di Achille, il peso del corpo trasmesso sull'astragolo rappresenta la resistenza. La leva più frequentemente usata nell'organismo animale è quella di terzo genere. Ad esempio nel tagliare un corpo coi denti si ha la resistenza nel corpo che si morde, e che è collocato tra i denti incisivi, il punto di appoggio è nell'articolazione, e la potenza è presso l'angolo della mascella all'apofisi coronoide. L'azione del bicipide sul radio e così l'azione di moltissimi muscoli ci porgono esempi di leve di terzo genere, per le quali se abbiamo perdita di forza acquistiamo grande celerità di moto. Ma vi è pure perdita di forza muscolare anche per un'altra ragione, cioè per l'obliquità dell'inserzione delle fibre muscolari sulle leve ossee, che debbonsi mettere in movimento. Supponiamo (fig. 20) l'avambraccio disteso in linea retta col braccio, e volendosi ripiegar quello, si ponga in contrazione il bicipide. Nel primo istante della flessione, rappresentando con IF la direzione e l'intensità della forza del muscolo, questa si potrà decomporre in due, cioè nella BI perpendicolare al radio, e nella AI avente la medesima direzione dell'asse del radio. È manifesto, che quest'ultima per nulla influisce nella flessione dell'avambraccio; la quale è solamente prodotta dalla BI, che è la più piccola delle due componenti. Seguitando il movimento dell'avambraccio, osserviamolo quando fa col braccio un angolo ottuso (fig. 21), e quindi allorchè fa un angolo retto (fig. 22). Nella prima di queste due ultime posizioni si

vede, che la componente B'I' va aumentando e diminuisce A'I', per il che è minore la perdita di forza muscolare. Nell'ultima posizione poi, addivenendo la direzione del muscolo perpendicolare all'asse del radio, non ha più luogo la decomposizione della forza, cioè è nulla I'A'.

34. Miografo di Helmholtz. — È pure un'applicazione della leva il *Miografo* di Helmholtz, il quale è molto usato in fisiologia per lo studio delle proprietà dei muscoli. Intorno ad un asse mobile (fig. 23) in un sostegno fisso può girare in un piano verticale una leggiera e lunga leva *abc*: in *b* si attacca un'asta verticale fissata colla sua parte superiore per mezzo di un uncino nel tendine di un muscolo, ad esempio del muscolo gastronemio di una rana. Il femore è tenuto fisso in una pinzetta, e per conseguenza sono tenute ferme le inserzioni superiori del muscolo. Nel punto *a* sta unita ad articolazione una piccola asta *ad*, alla quale è congiunta una punta *de*, che appoggia l'estremità acuminata sulla superficie di un cilindro metallico coperta di carta annerita col nerofumo. Una debole molla R fissata sulla leva principale vicino al punto *a* poggia colla sua estremità libera sull'asticella *ad* e comprime costantemente la punta contro la superficie del cilindro. In *b* è fissato un piatto, nel quale si possono collocare pesi destinati a stirare il muscolo. All'estremità *c* della leva, prima di attaccarla al muscolo, si pone un peso scorrevole in posizione tale da fare equilibrio all'altro braccio della leva ed al piatto vuoto. Congiunta la leva al muscolo, ed impresso al cilindro un moto di uniforme rotazione, si eccita il nervo sciatico N, ovvero si eccita direttamente il muscolo. Questo si contrae, si solleva il peso, e la punta descrive sulla carta annerita una curva, che si deve esaminare. Si distacca dal cilindro e si distende la carta, che porta la curva (fig. 24) *stv*. La linea *mn* è stata tracciata dalla punta prima che avvenisse la contrazione muscolare. La distanza *sv* compresa su questa linea fra le due estremità della curva permette di misurare la durata della contrazione. Difatti se il cilindro compie un giro per secondo, e se *sv* è eguale ad es., a 7/10 di *mn* che corrisponde ad un'intera circonferenza del cilindro, la durata della contrazione sarebbe stata di 7/10 di secondo. Il massimo accorciamento del muscolo ci viene indicato dalla maggiore ordinata *ot* della curva. Osservando però la figura precedente (fig. 23) ci accorgiamo, che il sollevamento della punta *de*, e quindi l'ordinata *ot* non è eguale ma maggiore dell'accorciamento del muscolo, poichè questo sta a quello come *ob* sta ad *oa*. Si potrà però con tutta facilità, conoscendo le quantità *oa*, *ob*, *ot*, calcolare la vera ampiezza della contrazione subita dal muscolo. Con tale apparato pertanto veniamo in cognizione dell'abbreviamento del muscolo e del sollevamento del peso, che come vedremo (44) sono gli elementi necessarii per determinare il lavoro di una contrazione muscolare (*).

(*) La molla R (fig. 23), come abbiamo detto, fa continuamente premere la punta *de* contro il cilindro rotante: ma siccome nel sollevarsi della leva O*a* la detta punta, se fosse libera, descriverebbe un'arco di cerchio, ne viene che la pressione da essa esercitata contro il foglio di carta annerita non è sempre

35. Carrucola. — *La Carrucola* o *puleggia* consiste in una rotella di legno o metallo munita nella sua circonferenza di una gola. Essa carrucola può rotare intorno ad un asse che passa per il suo centro e che con i suoi estremi riposa su due fori praticati in una staffa. La puleggia può essere *fissa* o *mobile*. È fissa (fig. 25) quando sia sostenuta la staffa da un punto fisso M e la carrucola possa girare solo intorno all'asse C. Una fune che si accolla alla gola con un estremo regge il peso Q, mentre all'altro suo estremo trovasi applicata la potenza P. Si comprende, che agendo la potenza dall'alto in basso, la resistenza Q è tirata in alto. Che se invece (fig. 26) in M sia fisso l'estremo di una fune e questa si accolli ad una carrucola C, la cui staffa rivolta in basso sostenga il peso Q, e la potenza sia applicata in P si avrà la carrucola mobile, ed è chiaro, che agendo la potenza dal basso in alto, sarà sollevata la puleggia e per ciò anche il peso Q.

36. Legge di equilibrio nella carrucola. — La carrucola fissa (fig. 25) si rassomiglia ad una leva di primo genere a braccia eguali, avendosi in C il punto d'appoggio, in A la potenza P, ed in B la resistenza Q. Ne risulta, che la carrucola fissa non aiuta la potenza e non le nuoce (32): purnondimeno si adopra molto utilmente per cambiare la direzione delle forze secondo le varie opportunità. La carrucola mobile poi (fig. 26) può dirsi una leva di secondo genere, avendosi in B il fulcro, perchè intorno a questo punto gira la puleggia, o meglio il diametro AB, in C è applicata la resistenza Q ed in A la potenza P. Avrassi dunque per l'equilibrio (32)

$$P:Q=CB:AB.$$

Ma AB è doppio di CB, dunque anche Q sarà doppia di P, cioè con questa carrucola si fa equilibrio ad una resistenza con una potenza eguale alla metà della resistenza stessa. Si noti che anche qui il guadagno in forza si fa con perdita di velocità: imperocchè

eguale. Ad ottenere l'uniformità di pressione è meglio d'usare, invece della molla R, quest'altra disposizione. Per mezzo di una vite di pressione si fissa orizzontalmente in un punto della verga *ad* piuttosto lunga un sottile cilindro metallico rivolto verso il sostegno O; nel qual cilindro può scorrere un pesetto, che è quello che fa premere la punta *de* contro la carta tanto più, quanto più esso peso si discosti da *a*. Perchè poi tal pressione sia uniforme, ad un punto della medesima verga *ad* posto sotto a quello, a cui è fissato il suindicato cilindretto, si annette per mezzo di un'altra vite di pressione l'estremo di un filo, l'altro estremo del quale sta fisso in un punto del sostegno collocato sotto ad O. Quando innalzandosi la leva O*a* tende a spingersi in avanti la punta *de*, il filo la tira indietro. A forza di prove si giunge a fissare il detto filo in una parte tale della retta *ad*, che la punta descriva nell'ascendere una linea verticale, nel qual caso essa esercita sempre nel cilindro girante una pressione uniforme. Riguardo poi alla curva descritta diciamo, che dividendo lo spazio *mo* (fig. 24) in 9 parti eguali, si vede che la rapidità di contrazione è più grande da 1 e 2, e che poi è sempre minore nelle unità successive di tempo: apparisce manifesto ancora che il ritorno del muscolo alla primiera dimensione succede con maggior rapidità della contrazione. Helmholtz, eccitata colla scintilla elettrica una coscia di rana, osservò che passava un cinquantesimo di secondo tra lo scoccare della scintilla ed il principio della contrazione, un quinto di secondo dal principio di questa al suo massimo, un decimo di secondo dal massimo di contrazione al riposo.

se P si solleva per un metro il sollevamento di Q è solamente di mezzo metro.

37. Parti dell'organismo animale somiglianti alla carrucola. — Nell'organismo animale non si rinvengono delle vere carrucole, ma vi sono delle disposizioni, che in qualche modo hanno somiglianza colle medesime. Invero nello scheletro umano la parte inferiore dell'omero prende la forma di una parte di puleggia a doppia gola, e la parte superiore del cubito presenta una conformazione inversa in modo che nelle cavità di quest'osso penetrano le parti salienti di quello, e così si rendono più facili i movimenti di flessione e di estensione, e si rendono impossibili i movimenti laterali. In qualche parte i tendini scorrono sopra superficie, le quali cambiano la direzione del movimento impresso dalle fibre muscolari. Difatti nell' angolo interno superiore dell'orbita dell'occhio si trova una cartilagine cilindrica in forma di anello, in cui scorre il tendine del grande obliquo che è ripiegato ad angolo acuto. L'azione del muscolo in tal modo si fa nella direzione di una linea, la quale parte dall'inserzione nel globo dell'occhio e va al centro del detto anello. Vicino alle articolazioni gli ossi sono più voluminosi ed i tendini scorrono su queste parti arrotondate, e le loro inserzioni sugli ossi inferiori si fanno per ciò obliquamente e non parallelamente alle leve, che si debbono mettere in moto. In questa maniera l'azione del muscolo si rende assai più facile. Bene s'intende, le dette disposizioni somigliare alle carrucole, ma non essere vere puleggie, perchè le parti arrotondate non girano intorno ad un asse, ma sono le funi o tendini, che scorrono sopra le superficie levigate di quelle.

38. Traglie. — La *Traglia* è il complesso di più puleggie, e può avere più forme. Descriveremo una delle più comuni (fig. 27). Una larga staffa tenuta fissa in un sopporto ben stabile contiene tre compartimenti, ed è attraversata da un asse fisso, attorno a cui possono girare tre carrucole. Una eguale staffa è disposta al disotto della prima ed è libera. Si attacca in un punto della staffa superiore l'estremità di una corda, che si accolla su di una delle carrucole inferiori, poi su di una delle superiori, quindi sulla carrucola inferiore seguente, e così di seguito, come scorgesi nella figura. Si attacchi un peso all'uncino annesso alla staffa inferiore, e si applichi una potenza all'ultimo tratto della fune. Si capisce, che agendo la potenza dall'alto in basso, il peso deve sollevarsi. Questo sarà ripartito egualmente su ciascuno dei sei pezzi di fune paralleli, che sono intercettati fra le due staffe, e quindi ciascuna delle sei parti di fune, e perciò anche l'ultimo tratto a cui si applica la potenza, regge solamente la sesta parte dell'intero peso. Adunque con questa traglia una potenza fa equilibrio ad un peso sei volte più grande. Il tempo però impiegato a sollevare il peso è sei volte maggiore di quello che sarebbe necessario per sollevarlo, se una forza proporzionata fosse ad esso immediatamente applicata, poichè se l'ultimo pezzo della corda venga tirato per un metro, ciascuno degli altri sei pezzi si abbrevierà di un solo sesto di metro. Si comprende che le carrucole possono essere portate a qualunque numero, e che in genere il peso retto

dalla potenza è eguale al peso totale attaccato alla traglia diviso per il numero delle carrucole.

Le traglie si usano qualche volta per rimettere delle lussazioni inveterate. Fa d'uopo però, che l'operatore regoli bene la potenza, e non ecceda in questa; perchè stirando la parte, su cui si agisce, con troppa forza la quale è tanto aumentata dall'apparato si potrebbero produrre fratture e lacerazioni.

39. Vite. — La *vite* è una macchina formata di due parti principali cioè della *vite* propriamente detta o *maschio di vite* e della *madrevite*. Consiste la prima in un cilindro, intorno al quale gira un'elica prominente tale che le distanze tra una voluta e l'altra, prese in una retta parallela all'asse del cilindro, siano tutte eguali tra di loro. Questa costante distanza tra una spina e l'altra dicesi *passo della vite*. La madrevite poi è costituita da un parallepipedo che ha un foro cilindrico di diametro eguale a quello del maschio, nelle pareti del qual foro vi è un'elica incavata eguale a quella, che nel maschio trovasi un rilievo; cosicchè l'elica prominente può scorrere su quella incavata. Si può fare uso di questa macchina, facendo che la madrevite sia fissa e la vite giri, e così venga ad abbassarsi, producendo col suo estremo una pressione sopra ad un corpo sottoposto; ovvero può tenersi fisso il maschio e fare girare la madrevite, la quale ad ogni giro si avvanzerà di un passo di vite. Generalmente si suole unire al maschio della vite una manovella, onde con minor forza ottenere la rotazione di esso.

40. Legge di equilibrio nella vite. — Non potendo dare una esatta dimostrazione della legge di equilibrio della vite, perchè tale dimostrazione dipende da quella relativa all'equilibrio nel piano inclinato, di cui non abbiamo a parlare, ne daremo una indiretta, ricorrendo al principio più volte da noi menzionato, cioè che nelle macchine tanto si guadagna in forza, quanto si perde in velocità. Nella vite la forza si applica all'estremo della manovella: ond'è che per fare abbassare il maschio per uno spazio eguale al passo della vite, la potenza deve percorrere una periferia, che abbia la manovella per raggio. Se adunque il passo della vite è, ad esempio, 100 volte più breve della detta circonferenza, l'estremo del maschio che produce la pressione procederà con una velocita 100 volte minore di quella, con cui si muove la potenza. Ma guadagnandosi tanto in forza, quanto in velocità si perde, si dedurrà, che con una forza equivalente ad un chilogramma si farà una pressione di 100 chilogrammi. Conchiuderemo adunque, che nella vite per l'equilibrio la potenza deve stare alla resistenza, come il passo della vite sta ad una circonferenza avente la manovella per raggio.

41. Usi della vite. — Potendosi colla vite produrre grandissime pressioni, essa viene usata in molti istrumenti chirurgici. Anche in fisiologia si adopra una piccola pressa a vite per estrarre i liquidi contenuti in alcuni tessuti organici animali. È pure la vite la parte principale della *macchina di divisione*. Consiste questa in un banco metallico, sopra il quale trovasi in posizione orizontale un maschio di vite fisso in modo che può solamente girare intorno al proprio asse messo in moto con una

manovella. Essendo mobile la madrevite, questa ad ogni giro del maschio si avvanza verso un estremo per uno spazio eguale al passo. Essa madrevite porta congiunto un carretto, al quale è annesso un bulino con cui si effettuano le divisioni di una scala, che si voglia segnare sopra una lastra. Il passo della vite è assai piccolo e per lo più è di mezzo millimetro; ond'è che volendosi graduare una retta in mezzi millimetri, basta di fare col bulino un segno per ogni giro della manovella. Che se si facesse il segno ogni qual volta la manovella ha percorso un cinquantesimo di giro, la linea rimarrebbe divisa in parti equivalenti ad un centesimo di millimetro. Finalmente è usata la vite a passo brevissimo per produrre piccolissimi e regolari movimenti nei microscopii, onde collocare le lenti alla debita distanza dagli oggetti, che si vogliono osservare (838).

42. Lavoro. — Dopo di aver parlato delle macchine, conviene far parola del *lavoro* od *effetto utile* che con esse si ottiene. Una forza, che è applicata ad un corpo senza che lo faccia muovere, si dice che non produce lavoro od effetto utile: così ad esempio non fa lavoro colui che rimanendo fermo regge un fardello sulle spalle, il quale fardello potrebbe egualmente essere retto dal suolo. Per aversi adunque un lavoro bisogna che abbia luogo uno spostamento del corpo e della forza. Quindi è che si è appellato *lavoro* il prodotto della forza ridotta a chilogrammi (21) per lo spazio percorso dal suo punto d'applicazione, e per unità di misura del lavoro si è preso il *chilogrammetro*, il quale è il lavoro che si effettua nel sollevare un chilogramma all'altezza di un metro. Se, ad esempio, un uomo ha sollevato 50 chilogrammi all'altezza di un metro, od un chilogramma all'altezza di 50 metri, dicesi che egli ha fatto un lavoro di 50 chilogrammetri. È necessario però nella meccanica applicata di conoscere in quanto tempo una macchina od un animale possa fare un dato lavoro; poichè conosciuto questo tempo, si può calcolare quante volte in un giorno possa quello effettuarsi. Si è quindi convenuto chiamare *cavallo-vapore* il lavoro equivalente a 75 chilogrammetri effettuato in un minuto secondo; per il che quando, ad esempio, diciamo che una macchiua è della forza di 4 cavalli-vapore, intendiamo che essa macchina è capace di produrre un lavoro equivalente a quello di elevare quattro volte in un secondo un peso di 75 chilogrammi all'altezza di un metro.

L'uomo può impiegare la sua forza muscolare a diverse opere molto differenti. Ora è destinato a gettare sostanze solide da un punto più basso ad uno più alto, ora deve girare una manovella, ora ascende su grandi ruote a cavicchie, che servono nelle cave di pietra a sollevare i massi. L'esperienza ha mostrato, che un uomo, facendo girare una burbera in una giornata di otto ore, non produce che un lavoro di 100,000 chilogrammetri. Ma se alla burbera si annetta invece della manovella una ruota a cavicchie, egli montando su questa effettua nel medesimo tempo un lavoro di 250,000 chilogrammetri; perchè in tal caso è aiutato dal peso del suo corpo.

43. Lavoro motore, lavoro resistente. — Quando una macchina qualunque è messa in movimento da una forza motrice, il

lavoro, ossia il prodotto della forza per lo spazio percorso dal suo punto di applicazione nella direzione della forza stessa, si chiama *lavoro motore*, e si dicono *lavoro resistente* i prodotti delle forze resistenti, che si oppongono cioè alla potenza motrice, per lo spazio che percorrono i loro punti di applicazione. Il lavoro resistente si divide in *utile* e *passivo:* il primo è quello, che si vuole realmente ottenere, come il trasporto di una massa da un punto ad un altro: il secondo poi è quello, che si spende per vincere le resistenze passive, come l'attrito e la resistenza dell'aria. In qualunque macchina messa in moto il lavoro motore è eguale a tutto il lavoro resistente, ossia tanto all'utile quanto al passivo, e perciò il lavoro utile è sempre minore del lavoro motore. Da ciò si deduce, essere impossibile trovare il così detto *moto perpetuo*; poichè a ciò si richiederebbe di evitare ogni resistenza passiva, affinchè al lavoro motore fosse eguale il lavoro utile che dovrebbe a sua volta divenire motore.

44. Lavoro di un muscolo. — Il lavoro effettuato da una contrazione muscolare si misura dal prodotto del peso che si solleva per l'altezza alla quale si porta. Così, ad esempio, se noi solleviamo all'altezza di un metro, per mezzo dei muscoli del braccio, un peso di 20 chilogrammi tenuto colla mano, i detti muscoli avranno effettuato un lavoro di 20 chilogrammetri. Si potrebbe però obbiettare, questo prodotto non potere esprimere il vero lavoro motore del muscolo; perchè per le disposizioni delle leve ossee e delle inserzioni muscolari (33) nel nostro organismo, il reale accorciamento del muscolo è assai minore del cammino percorso dal peso sollevato. Rispondesi però che se vi è stato guadagno di velocità, ossia se il peso ha percorso uno spazio maggiore, il muscolo ha dovuto fare uno sforzo altrettanto maggiore del peso suddetto: quindi è che il lavoro del muscolo, ossia il prodotto della forza da esso esercitato per il suo reale accorciamento, è precisamente eguale al prodotto del peso sollevato per lo spazio da questo percorso. Ma supponiamo che il braccio sia disteso lungo il corpo, e che per mezzo di una funicella sia un peso legato alla mano. L'allungamento del braccio e per conseguenza dei muscoli sarà insensibile a motivo della poca estensibilità degli ossi e dei ligamenti, che mantengono le articolazioni a contatto. In questo caso non facciamo un lavoro, e solo facciamo l'ufficio di una tavola inerte, che sostenga quel corpo. Ma se si sperimenti su di un muscolo distaccato in una sua inserzione dall'osso, allora non lo potremo più considerare come inestensibile. Sia, per esempio, un muscolo gastronemio di rana, come dicemmo (34) nel miografo di Helmholtz. Si attacchi al tendine un peso di 100 grammi: il muscolo si distenderà (fig. 28) in virtù della sua elasticità, e se esso prima di essere caricato aveva una lunghezza AC, per lo stiramento prodotto dal peso prenderà una lunghezza eguale ad AD, e la forza elastica delle fibre muscolari farà equilibrio al peso. Se allora eccitiamo il nervo, il muscolo tosto si contrarrà ed il peso rimarrà sollevato, ad esempio, fino in B. Il lavoro reale del muscolo sarà eguale al prodotto $O.^k I \times BD$; ma il vero effetto utile sarà in questo caso espresso solamente da $O.^k I \times CB$, poichè il muscolo non caricato ed in riposo aveva la lunghezza AC.

CAPO IV.

GRAVITÀ

45. Che cosa è gravità. — La materia attrae la materia, e quando quest'attrazione avviene a grandi distanze tra i corpi, che vanno girando per lo spazio, ad esempio tra il sole ed i suoi pianeti, dicesi *gravitazione universale*, la quale, come dimostrò Newton, è nella ragion diretta della massa dei corpi che si attraggono, e nella ragione inversa dei quadrati delle loro distanze. Se adunque i corpi fra di loro si attraggono, i corpi sublunari abbandonati a se stessi debbono cadere verso la terra e battere nel suolo. Tale attrazione esercitata dalla terra sui corpi sublunari appellasi *gravità*, la quale è un caso particolare dell'universale gravitazione. Proviene dalla forza preponderante della gravità, che i corpi collocati sulla superficie terrestre non si avvicinano fra di loro per la mutua attrazione, la quale dalla gravità rimane vinta. Che se venisse a distruggersi l'effetto di questa, si renderebbe sensibile la vicendevole attrazione dei corpi. A tale scopo Cavendish ha appeso orizzontalmente ad un filo metallico una sbarra avente ai due estremi due piccoli globi di piombo. Ha presentato a questi due altre grosse palle pure di piombo in modo che una attraesse in avanti una palla della sbarra, e l'altra attraesse l'altra in dietro, sicchè le due attrazioni cospirassero insieme a fare girare la sbarra intorno al punto di sospensione. La verga incominciò a girare, ma per la forza di torsione (10) tornò in dietro, e proseguì ad oscillare. L'attrazione dei corpi viene pure provata da che un filo a piombo devìa dalla verticale vicino alle grandi montagne.

46. Direzione della gravità. — Ciascuna molecola della massa terrestre attrae verso di se un corpo sublunare: tutte queste parziali attrazioni sono come tante componenti (24) alle quali corrisponde un'unica risultante. E siccome la terra è di forma presso a poco sferica; facilmente si dimostra, che la detta risultante deve trovarsi come applicata al centro terrestre, in cui per conseguenza potrà immaginarsi riconcentrata la gravità. Proviene da ciò, che la direzione della gravità, ossia la direzione secondo cui cade un grave, è la verticale, vale a dire è una linea che prolungata anderebbe a terminare al centro della terra, e quindi riesce normale alla superficie dell'acqua stagnante, come si può verificare per

mezzo di un filo a piombo sospeso sopra ad un vaso pieno di acqua, e di una squadra. Andando due gravi, che cadono, verso il centro della terra, ne viene che due verticali non sono fra loro parallele: nondimeno, se non è molto grande la distanza che le separa, si possono ritenere come tali, poichè tendono a riunirsi in un punto collocato ad enorme distanza.

47. Peso di un corpo. — La gravità è una forza che agisce su tutte le molecole del corpo attratto. Invero se s'immagini, che un corpo sia diviso in tutte le sue molecole, ci persuaderemo che ciascuna di esse cadrebbe percorrendo una verticale: il che prova, su ciascuna molecola esercitarsi la gravità. Avremo adunque come tante forze parallele, quante sono le molecole del corpo, le quali forze debbono avere una risultante, che costituisce il *peso* del corpo: il qual peso è quello che produce una pressione contro il sostegno, che impedisce la caduta del corpo. Essendo poi la risultante di più forze parallele eguale alla somma delle componenti (27), ne consegue essere il peso del corpo proporzionale alla massa del medesimo. Il punto dove trovasi applicata la suddetta risultante dicesi centro di gravità, ed in esso deve considerarsi riconcentrato il peso.

48. Determinazione del centro di gravità. — Interessa molto di determinare in un corpo il centro di gravità, poichè quando questo venga sostenuto, l'effetto della gravità è distrutto, ed il corpo rimane in equilibrio. In una verga tutta di egual grossezza e densità il centro di gravità trovasi nel mezzo. Difatti supponendo divisa ciascuna metà di essa spranga in un numero eguale di parti eguali, è manifesto che i pesi delle due estreme parti della verga possono considerarsi come due forze eguali e parallele, la cui risultante, sappiamo, doversi trovare applicata nel punto medio (27): si può la stessa cosa dire del peso delle due parti aderenti alle prime, e così di seguito. Dal che risulta, nel punto di mezzo doversi trovare le risultanti di tutti i pesi delle suddette coppie di molecole; il che è quanto dire, che nel punto medio si trova il centro di gravità dell'intera verga. Allorchè un corpo possiede un centro tale, che le rette condotte per questo punto e terminanti alla superficie siano da esso divise in due parti eguali, il detto centro del corpo sarà il centro di gravità, perchè ivi cadono i centri di gravità delle suddette linee, del complesso delle quali si può supporre il corpo formato. Così una sfera, un cilindro, un cerchio, un rettangolo dotati di una ertezza uniforme hanno il loro centro di gravità nel loro centro di figura. Il determinare il centro di gravità dei volumi spetta alla matematica applicata, e noi ci limitiamo ad accennare un metodo sperimentale. Si voglia determinare il centro di gravità di un corpo M N (fig. 29) di uniforme ertezza. Si sospenda il corpo per un punto A ad una fune o filo SA: il corpo in principio roterà alquanto, e non rimarrà in equilibrio, se non quando il suo centro di gravità sia nella direzione del filo S A, perchè allora solo il suo peso è sostenuto dal punto fisso S. Si tracci con un filo a piombo questa direzione A*m* sulla superficie del corpo, e di poi si ripeta l'operazione, sospendendo il corpo per un altro punto B; e quando siasi ottenuto di nuovo l'equilibrio, si traccia col filo a piombo la linea O*n*, che incontra la prima in G. Nel punto corri-

spondente a G in mezzo all'ertezza del corpo si trova il centro di gravità. Questo nel corpo umano che sta dritto esiste in un piano di simmetria, in un piano cioè che divide il corpo verticalmente dal di dietro al davanti in due parti eguali. Si è poi conosciuto a quale altezza in questo piano il detto centro corrisponde, operando così. Sopra ad un prisma di legno a base triangolare tenuto coll'asse in posizione orizzontale, e che abbia lo spigolo superiore un poco smussato, si collochi una tavola lunga e larga in modo che resti orizzontalmente in equilibrio. Su questa si ponga disteso alla supina un uomo in guisa che l'equilibrio non rimanga turbato. Allora il suo centro di gravità sarà in un piano verticale, che parte dallo spigolo del prisma, sul quale poggia la tavola. Con tal modo si è veduto tagliare il detto piano, quello di simmetria, seguendo una linea che passa presso a poco per l'ultima vertebra lombare.

49. Base di sostenimento. — Perchè un corpo che poggi sul suolo non cada rovesciandosi, è necessario che la verticale spiccata dal suo centro di gravità cada dentro quel tratto di terreno, il quale è chiuso tra le rette, che congiungono i punti del corpo toccanti il suolo; al qual tratto di terreno dassi il nome di *base di sostenimento*. Nell'uomo che sta in posizione verticale la detta base è un trapezio, di cui i due lati non paralleli sono costituiti dai lati esterni dei piedi, ed i lati paralleli sono due rette, una delle quali congiunge le due punte dei piedi, e l'altra i talloni. Nei diversi moti di locomozione cambia di molto la figura della base, ed anche la posizione del centro di gravità può cambiare in molti casi. Ad esempio, l'uomo che porta un peso deve inclinarsi od in avanti, o in dietro, o a sinistra o a destra, secondo che regge il peso in dietro, o in avanti, o a destra, o a sinistra, affinchè la verticale spiccata dal centro di gravità dell'insieme del suo corpo e del carico cada dentro della base di sostenimento. Allorchè un carro scorre per una via lateralmente inclinata, se porta un peso collocato in alto, facilmente si rovescia, perchè la verticale spiccata dal centro di gravità, che trovasi in alto, con tutta facilità va a cadere fuori della base di sostenimento: ma se il carico è collocato in basso, difficile è il rovesciamento della vettura.

50. Equilibrio stabile, instabile, indifferente. — Dicesi trovarsi un corpo in equilibrio *stabile* quando rimosso dalla sua posizione di equilibrio vi ritorna da se stesso tosto che cessi la causa che lo ha spostato, e ciò ha luogo quando il corpo ha una tale posizione, in cui il suo centro di gravità stia più basso, che in ogni altra posizione vicina. Si ha l'equilibrio *instabile*, allorchè un corpo rimosso dalla posizione di equilibrio tende ad allontanarsene sempre più, e questo si verifica ogni qual volta il centro di gravità è collocato più in alto, che in ogni altra vicina posizione. Finalmente si ha l'equilibrio indifferente, quando esso si conserva in tutte le posizioni, che può prendere il corpo, il che ha luogo quando il centro di gravità del corpo, nel cambiare di posizione di questo, non si innalza e non si abbassa. Se un cono poggia su di un piano orizzontale colla sua base trovasi in equilibrio stabile; se vi poggia col vertice è in equilibrio instabile; ma è in equilibrio indifferente se vi giace con un suo lato.

51. Caduta dei corpi di diversa massa nel vuoto. — Se varii corpi di diversa massa si fanno cadere dall'alto, si vede, che i più leggieri acquistano una velocità minore, i pesanti una maggiore. Galileo però fece cadere dall'alto del campanile del Duomo di Pisa più palle di volume eguale, ma di peso diverso, e si accorse, che la differenza di velocità era dovuta alla resistenza dell'aria, la quale era vinta meglio dal corpo pesante che dal leggiero, e non già alla differenza di massa, colla quale non aveva quella diversa velocità alcun esatto rapporto. Difatti se in un lungo tubo di cristallo, entro cui siasi fatto il vuoto, si fanno contemporaneamente cadere più corpi di masse diversissime, si veggono tutti discendere con velocità eguale: eccone la ragione. Si considerino più molecole distaccate fra di loro: la gravità agirà egualmente su ciascuna di esse, comunicando ad ogni una eguale velocità. Si lasci una di esse isolata, e le altre s'immaginino fra di loro aderenti: tale aderenza per nulla influirà sull'effetto della gravità, e perciò l'assieme di queste molecole, ossia la massa, qualunque essa sia, si muoverà colla stessa velocità di una sola molecola.

52. Leggi della caduta dei corpi gravi. — La gravità, quantunque agisca a varie distanze con intensità che è nella ragione inversa dei quadrati delle distanze stesse, pure trattandosi delle varie altezze, a cui l'uomo può giungere, e che sono piccola cosa relativamente alla lunghezza del raggio terrestre, può considerarsi come una forza costante, cioè come una forza che agisce di continuo nei corpi, e sempre con eguale intensità. Per il che i gravi, ricevendo di continuo eguali aumenti di velocità, cader debbono con moto uniformemente accelerato, prescindendo dalla resistenza dell'aria (17). Lo studio adunque delle leggi della caduta dei gravi serve ancora a conoscere in genere le leggi del moto uniformemente accelerato. Di tali leggi daremo una dimostrazione geometrica ed un'altra sperimentale. Dobbiamo però premettere, che il tempo e la velocità si esprimono geometricamente con linee e che il prodotto di due quantità viene in geometria rappresentato dall'area di un rettangolo, di cui due lati attigui indicano colla loro lunghezza i due fattori.

Notato ciò, riflettiamo, che quantunque la gravità agisca senza interruzione nel corpo, pure senza grave errore possiamo immaginare, che essa forza agisca ad impulsi separati, comunicando al principio di ciascun istante al corpo quella velocità, che esso corpo veramente acquista durante tutto quell'istante. Ammessa tale ipotesi, si rappresenti colla retta A B (fig. 30) il tempo impiegato da un grave a cadere. Divisa la suddetta linea in parti eguali A N, NO..... queste rappresenteranno gli istanti eguali, in cui si è supposto diviso il tempo. Al principiare del primo istante dando la gravità un impulso al corpo, gli comunica una velocità, che esprimiamo colla retta A D. Siccome nella fatta ipotesi la velocità durante il primo istante non si cambia; il moto finchè dura esso istante è uniforme: e poichè nel moto uniforme lo spazio è eguale alla velocità moltiplicata per il tempo (18); diremo che lo spazio percorso dal grave nel primo istante è proporzionale all'area del rettangolo A D E N. Al cominciare del secondo istante la gravità dà un secondo

urto al corpo, e gli comunica un altro grado di velocità eguale a quello che gli dette nel primo istante: quindi è che il mobile nel secondo istante procederà con moto uniforme e con velocità espressa da NF, e lo spazio in detto secondo istante percorso verrà espresso dalla superficie del rettangolo NFGO. Similmenle avverrà che gli spazii percorsi nel terzo e quarto istante potranno esprimersi colle aree dei rettangoli OHLP, PMCB. Pertanto lo spazio totale percorso dal corpo in tutto il tempo AB verrà ad essere indicato dalla superficie dell'intero poligono ADHMCB. Se non che nella fatta ipotesi si è accordata troppa velocità al corpo, quindi il detto spazio è più grande di quello che il grave realmente percorre. Invero la gravità non agisce ad impulsi ma continuamente, e quando il corpo era sul principio del muoversi non avea la velocità AD ma zero, e la velocltà poi, crescendo un poco alla volta, al terminare del primo istante era divenuta eguale ad $EN = AD$. Parimente nel secondo istante il corpo non si è mosso con moto uniforme e con velocità sempre eguale ad NF, ma ha cominciato colla velocità NE, e questa, aumentando sempre, al termine del secondo istante è divenuta $OG = NF$. Dicasi lo stesso relativamente agli istanti successivi. A rimediare all'errore si faccia un'altra ipotesi tutta opposta alla prima; suppongasi cioè, che agendo ad impulsi, la gravità comunichi eguali gradi di velocità al corpo nel terminare dei singoli istanti, e che per conseguenza le velocità degli istanti che si succedono siano zero, NE, OG, PL. Gli spazii percorsi in detti istanti saranno rappresentati da zero per il primo e per gli altri dalle aree dei rettangoli NEQO, OGRP, PLSB. La differenza degii spazii percorsi dal corpo nella prima e nella seconda ipotesi viene indicata dalla superficie dei rettangoli ADEN, EFGQ, GHLR, LMES. Ma la seconda ipotesi pecca in meno di tanto, di quanto la prima peccava in più: quindi nè si debbono prendere tutti i detti ultimi rettangoli, nè escluderli tutti, ma assumendo la metà di ciascuno di essi col tirare la retta AC, si dovrà conchiudere, che il vero spazio percorso dal grave è esattamente proporzionale alla superficie del triangolo rettangolo ACB, la quale è espressa da $\frac{AB \times BC}{2}$. Essendo AB il tempo, che s'indica con t, BC la velocità che ha il grave al terminare del tempo t, e che si esprime con v; lo spazio s percorso dal grave si avrà dalla formola $s = \frac{v.t}{2}$.

Se dopo il tempo t la gravità cessasse di agire sul corpo, si fermerebbe questo? No di certo, ma seguiterebbe a cadere a motivo della velocità v acquistata precedentemente, e solo si avrebbe che il suo moto passerebbe ad essere uniforme, cosicchè in un altro tempo t percorrerebbe uno spazio (18) espresso dalla formola $s = vt$, il quale spazio, come è evidente, è doppio del primo. Dunque si può conchiudere, che un grave col cadere si trova di avere acquistata dopo un tempo t una velocità tale, che cessando di agire la gravità, esso seguiterebbe a muoversi con moto uniforme in modo da percorrere in un altro tempo eguale a t uno spazio doppio del già percorso. Questa legge si può dimostrare anche

geometricamente. Se la retta AB rappresenti il tempo t (fig. 31), e la BC la velocità, che ha il grave al terminare del tempo t, la superficie S del triangolo ABC rappresenterà lo spazio percorso. Cessando di agire la gravità, rimarrà al mobile la velocità BC, e seguitando a muoversi con moto uniforme per un altro tempo $BL = t$, percorrerà uno spazio proporzionale alla superficie del rettangolo COLB, il quale è diviso dalla diagonale CL in due triangoli S', S'', di cui ciascuno è eguale ad S.

Risulta dalla figura 30, che se chiamasi con g la velocità, che ha il grave al terminare del primo istante, quella che possiede al terminare del secondo è 2 g, 3 g quella che ha al fine del terzo, e così di seguito. Per la qual cosa, chiamando un v la velocità che ha il corpo al termine del tempo t, la detta velocità verrà espressa dalla formola $v = gt$. Parimente se notisi con v' la velocità del grave al fine del tempo t', si avrà $v' = gt'$: e quindi si avrà pure

$$v : v' = gt : g't', \text{ ossia } v : v' = t : t'$$

dalla quale apprendiamo, che nella caduta dei gravi, ed in genere nel moto uniformemente accelerato le velocità sono proporzionali ai tempi: tale legge si può dimostrare geometricamente. AB (fig. 32) indichi il tempo t, ed AD il tempo t'. CB esprimerà la velocità v del grave al termine di t, ed ED quella v', che lo anima al terminare di t'. I due triangoli simili ABC, ADE ci danno la proporzione

$$CB : ED = AB : AD, \text{ ossia } v : v' = t : t'.$$

Chiamando con S la superficie del primo triangolo e con S' quella del secondo, i suddetti triangoli ci somministreranno quest'altra proporzione

$$S : S' = \overline{AB}^2 : \overline{AD}^2, \text{ cioè } S : S' = t^2 : t'^2$$

e questa c'insegna, che gli spazii percorsi dal grave sono proporzionali ai quadrati dei tempi. Tale interessante legge poteva dedursi dalle formole algebriche. Invero si è veduto essere $s = \frac{vt}{2}$, $v = gt$. Sostituendo nella prima il valore di v dato dalla seconda formola, si ottiene $s = \frac{gt^2}{2}$, e per conseguenza anche lo spazio s' percorso nel tempo t' sarà espresso da $s' = \frac{gt'^2}{2}$: si avrà quindi

$$s : s' = \frac{gt^2}{2} : \frac{gt'^2}{2}, \text{ vale a dire } s : s' = t^2 : t'^2.$$

S'isoli t nella formola $v = gt$, e si otterrà $t = \frac{v}{g}$, $t^2 = \frac{v^2}{g^2}$: il quale valore posto nell'altra formola $s = \frac{gt^2}{2}$ ci dà $s = \frac{gv^2}{2g^2}$, da cui si ricava $v = \sqrt{2gs}$, formola di cui avremo più volte a servirci.

La serie dei numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5..... esprima i tempi di durata del moto; essendo gli spazii come i quadrati dei tempi, gli spazii percorsi nei tempi suddetti saranno espressi dalla serie dei

numeri quadrati 1, 4, 9, 16, 25..... Che se vogliansi sapere non già gli spazii percorsi nella totalità dei tempi, ma quelli percorsi nei singoli istanti, si dovrà a ciascun termine dell'ultima serie sottrarre quello che lo precede; e così si farà noto, che gli spazii parziali suddetti sono espressi dai termini della serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, 9..... Tutto ciò si rende manifesto anche geometricamente. Rappresenti AB (fig. 33) il tempo t, BC la volocità finale: la superficie del triangolo ABC esprimerà lo spazio percorso. Il tempo AB si divida in parti eguali A1: 1, 2:..... che indichino i singoli istanti, e dai punti 1, 2..... si elevino tante linee parallele a BC, e dai punti 5, 6..., ove le suddette rette toccano l'ipotenusa AC, si conducano altre rette parallele ad AB: in fine dai punti 1, 2..... si guidino le linee 1, 9: 2, 10..... parallele ad A C. In tal modo avremo divisa tutta l'area del triangolo ABC in tanti triangoletti eguali. Contando i triangoletti che entrano nello spazio percorso in due, tre istanti ....., ovvero nel solo primo, nel solo secondo istante ..... si vedranno verificate le due leggi ora esposte.

Le formole $v = gt$, $s = \frac{gt^2}{2}$ non si potranno usare, finchè non si determini il valore di g. Noi per g abbiamo intesa la velocità acquistata dal grave durante il primo minuto secondo, ed abbiamo veduto questa esser tale da far percorrere al mobile, quando cessi la forza acceleratrice, in tempo eguale uno spazio doppio del già percorso. Sapendosi pertanto per mezzo di esperimenti, che un grave nel primo minuto secondo percorre uno spazio di 15 piedi parigini corrispondenti a metri 4,9044, conchiuderassi essere $g = 30$ piedi parigini pari a metri 9,8088.

53. Macchina d'Atwood. — La soverchia velocità, con cui cadono i gravi, impedisce che l'esposte leggi si possano direttamente verificare coll'osservazione. Era quindi necessario costruire una macchina, la quale diminuisse la velocità della caduta senza alterarne le leggi. Ciò ha raggiunto Atwood colla sua macchina. Sopra un alto sostegno di legno trovasi una carrucola munita di gola e girevole assieme ad un asse orizzontale, i cui estremi poggiano sulle periferie di due coppie di ruote, e ciò per ridurre al minimo l'attrito. Alla carrucola sta accollata una cordicina di seta, agli estremi della quale sono attaccati due egualissimi cilindri metallici. Vicino al cilindro anteriore trovasi un'asta verticale graduata, e nella parte posteriore avvi un pendolo che batte i minuti secondi. Essendo i due cilindri di egual peso si equilibrano a vicenda; ma se all'anteriore si aggiunga un pesetto, che sia, ad esempio, un cinquantanovesimo della somma della massa dei cilindri, il cilindro suddetto cadrà in basso con una velocità che sarà 60 volte minore di quella di un grave cadente liberamente. Toccando una molla, si fa che il cilindro ed il pendolo incomincino simultaneamente a muoversi. Nell'asta graduata verticale sta annessa una piccola lamina orizzontale, che per mezzo di un corsoio e di una vite di pressione può fissarsi a qualunque divisione dell'asta, e così il grave cadente può farsi fermare in quel dato punto. Si tiri in alto il cilindro anteriore, si aggiunga ad esso il pesetto:

si fissi poi la lamina alla divisione corrispondente a 3 pollici, pari a mm. 82,5. Fatta scattare la molle, si vedrà che al primo tocco battuto dal pendolo il gravimetro si ferma sulla lamina. Se adunque in un secondo il grave nella macchina ha percorso 3 pollici cioè mm 82,5, un grave che cade liberamente, perchè ha una velocità 60 volte maggiore, percorrerà in un secondo 15 piedi parigini pari a metri 4,9044. Se è vera la legge, che gli spazii sono proporzionali ai quadrati dei tempi, il cilindro nella macchina dovrebbe percorrere 12 pollici pari a m. 0,33 in due secondi, pollici 27 o metri 0,7425 in tre secondi. Il che pienamente si verifica. Per confermare poi che cessando di agire la gravità nel corpo, questo non si ferma, ma per la velocità acquistata è capace a percorrere in tempo eguale a quello della caduta precedente uno spazio doppio, si fissa nell'asta graduata un anello in modo che passi per esso il cilindro, che cade, al secondo minuto secondo; si porrà cioè al di sopra dei 12 pollici tanto, che allorquando la base inferiore del cilindro corrisponde al 12, la base superiore di esso stia al livello del piano del cerchio. Alla divisione 36 pollici si ferma la lamina orizzontale, e tirato in alto il gravimetro, si pone sopra di esso il solito pesetto ma di forma parallelepipeda tale che non possa attraversare l'anello. Lasciato libero il grave al secondo tocco battuto dal pendolo deporrà sull'anello il peso aggiunto, ed al quarto tocco si poserà sulla lamina.

54. Macchina di Morin. — La legge, che gli spazii stanno fra di loro come i quadrati dei tempi, si dimostra ancora colla macchina di Morin (fig. 34). Ad un montante di legno *z* sta annesso un cilindro A, che può girare intorno ai perni E, T. Il moto gli viene comunicato da un grave S, il quale è appeso ad una fune che si avvolge intorno ad un asse orizontale, a cui sta congiunta una ruota dentata C. Questa per mezzo delle viti perpetue E, D fa girare il cilindro A e le ventole P, P', che per la resistenza dell'aria cambiano il moto accelerato della caduta di S in moto uniforme: per il che anche il moto rotatorio di A è uniforme. A piccola distanza dal cilindro A vi sono due sottili aste verticali, delle quali una sola M è visibile in figura, e che servono di guida ad un grave I nella sua caduta. Questo grave porta una matita che tocca il cilindro, a cui si ravvolge un foglio di carta, sul quale I, cadendo, traccia una curva. Si toglie di poi il foglio dal cilindro e si distende (fig. 35): per il punto A origine della curva si conducono due linee, una orizzontale AB, l'altra verticale AC. Sopra la prima si prendono delle eguali distanze, e per queste si conducono delle rette verticali. Tali linee DG, CH, FI, IK equidistanti si sono presentate in eguali tempi successivi avanti al grave, poichè è uniforme il moto del cilindro. Si supponga ad esempio che il tempo trascorso dal presentarsi di una linea al presentarsi della successiva sia di un decimo di secondo: il grave avrà percorso lo spazio DG in un decimo di secondo, in due decimi lo spazio EH, in tre FI, in quattro IK..., e si trova che il secondo spazio contiene quattro volte il primo, nove volte lo contiene il terzo, sedici il quarto...

55. Forza viva. — Quando un corpo è caduto da un'altezza *s* ha una velocità, che abbiamo veduto (52) essere espressa dalla

formola $v=\sqrt{2gs}$, dalla quale si ricava $s=\frac{v^2}{2g}$. Potrà adunque il grave produrre un lavoro (43); e da ciò, che si esporrà nel seguente numero, si potrà dedurre, tale lavoro essere eguale a quello che si richiede per riportare il grave all'altezza da cui è caduto; cioè se chiamisi con p il peso del corpo in chilogrammi, il lavoro che il grave è capace a produrre deve esprimersi con ps. Sostituendo ad s il suo equivalente valore poco fa accennato si avrà $\frac{pv^2}{2g}$: ma essendo il peso di un corpo (47) eguale all'accelerazione g, prodotta dalla gravità, moltiplicata per il numero delle molecole del corpo, ossia per la sua massa m, potremo fare $p=gm$, il qual valore sostituito nella precedente espressione la converte nella $\frac{gmv^2}{2g}=\frac{mv^2}{2}$; dalla quale apprendiamo, che l'effetto utile, che può produrre un grave è eguale al semiprodotto della sua massa per il quadrato della sua velocità finale, al qual semiprodotto dassi il nome di *forza viva*. Siccome è indifferente per l'effetto utile qual sia la causa da cui proviene la velocità v che anima un corpo, si può conchiudere in generale, l'effetto utile, che può prodursi da un corpo posto in movimento, essere eguale alla sua forza viva.

56. Legge del moto uniformemente ritardato. — Si disse (17) che se ad un corpo animato da qualunque velocità si opponga una forza continua e sempre eguale a se stessa, che per conseguenza continuamente ed uniformemente diminuisca quella velocità, il moto del corpo è uniformemente ritardato. Tale è il caso di un grave, che venga da una forza istantanea scagliato verticalmente dal basso in alto; poichè la velocità dalla forza istantanea comunicata al corpo verrà continuamente scemata dalla gravità, che tira il corpo in senso contrario. Le leggi, secondo le quali si muove in questo caso il grave, potranno applicarsi a qualunque moto uniformemente ritardato. Se il corpo, che per un impulso istantaneo ha ricevuto una velocità C diretta dal basso in alto non sentisse l'effetto della gravità, procederebbe verso l'alto con una velocità C e con moto uniforme, e però in un tempo t percorrerebbe uno spazio espresso dal prodotto Ct (18). La gravità però, agendo sul corpo, gli diminuisce la velocità, e però lo spazio nel detto tempo percorso dal mobile sarà minore di Ct. Vediamo di quanto lo sia. Certo è che la gravità tanto agisce su di un corpo, che muovasi dal basso in alto, quanto in un corpo, che parta dalla quiete. Ma un corpo, che parte dalla quiete, per la gravità in un tempo t cade in basso per uno spazio eguale a $\frac{gt^2}{2}$ (52): dunque di altrettanto diminuirà lo spazio che percorrerebbe il corpo per la velocità C; onde concludiamo, che lo spazio, il quale veramente quel mobile percorre con moto uniformemente ritardato, sarà espresso da $s=Ct-\frac{gt^2}{2}$. Che se si volesse sapere, quale velocità avrà il corpo dopo un tempo qualunque t; si risponde, che tale velocità

sarà eguale alla primitiva meno quella, che al corpo viene tolta dalla gravità, ossia meno quella che la gravità avrebbe nel medesimo tempo impresso ad un corpo, che fosse partito dalla quiete: si avrà cioè $v = C - gt$. Finchè sarà $C > gt$, il corpo seguiterà a muoversi verso l'alto: quando sia $C = gt$, il corpo fermerassi; e finalmente quando sia addivenuto $C < gt$, il mobile tornerà in basso con moto uniformemente accelerato, e giunto che sia al punto di sua partenza, avrà acquistata tutta la primitiva velocità, ma in contraria direzione, perchè via via che discende ripiglia tutti quei gradi di velocità, che ascendendo aveva perduti.

CAPO V.

DEL PENDOLO

57. Che cosa è pendolo. — Dicesi *pendolo* un apparato costituito di una verga, la quale potendo muoversi attorno ad un punto, da cui è retto un suo estremo, tiene appeso nell'altro un corpo alquanto pesante. Se la verga sia così sottile, che il suo peso possa dirsi del tutto trascurabile a confronto di quello del corpo che regge il pendolo dicesi *semplice*, ma appellasi *composto* in caso contrario. Nel dare le leggi del pendolo intendiamo parlare del semplice, riservandoci di dire in appresso (59) come queste si possano applicare anche al composto. Se un pendolo si lasci libero, naturalmente prende la posizione del filo a piombo, ossia si dispone nella verticale *an* (fig. 36); ma se il pendolo venga rimosso da questa posizione, e poi sia lasciato libero, il corpo pesante discende verso la verticale, poi ascende dalla parte opposta, per quindi ridiscendere ed ascendere dall'altra parte, e così di seguito. Dicesi *oscillazione* l'andata del pendolo da una parte all'altra. Facciasi al pendolo prendere la posizione *an'*: la gravità agirà sul corpo pesante appeso al filo e la sua intensità e direzione potranno rappresentarsi colla verticale *n'd*, che potremo decomporre (26) nelle due *n'l*, *n's*. La prima di queste, essendo nella medesima direzione del filo, rimarrà distrutta dalla resistenza del punto di sospensione *a*, e la seconda sarà quella che spinge il pendolo a tornare verso la verticale. Si prova matematicamente, che giunto il pendolo in *n*, trovasi di avere acquistata quella velocità, che avrebbe conseguito il suo peso se fosse caduto liberamente e verticalmente da *m* in *n*. Quindi è che il pendolo non si ferma in tale posizione, ma

a motivo di detta velocità procede avanti con moto ritardato, finchè non giunge in n'' alla medesima altezza, da cui dall'altra parte era caduto. In tal punto ha perduto ogni velocità, e la gravità lo ritira in basso, onde giunge in n per ascendere di nuovo in n', e così in appresso. Se non vi fossero cause che tolgono velocità al pendolo, questo mosso una volta non si fermerebbe mai più, ma seguirebbe sempre ad oscillare. Venendogli però tolto continuamente un poco di velocità dall'attrito e dalla resistenza dell'aria; in ogni oscillazione ascende a minore altezza, e perciò le oscillazioni si fanno sempre più brevi ed in fine il pendolo torna a fermarsi nella posizione verticale.

58. Leggi delle oscillazioni del pendolo. — Nella meccanica trattata col calcolo si prova, che nelle oscillazioni non molto ample, le quali cioè non superano un arco di cerchio di 10°, il tempo T impiegato dal pendolo a compiere una oscillazione è espresso dalla formola $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, nella quale π è il rapporto costante, che passa tra il diametro e la circonferenza, e che è eguale a 3,141592, l è la lunghezza del pendolo, ossia la distanza del punto di sospensione al centro di gravità della lente, g poi è l'accelerazione prodotta dalla gravità. Da questa formola noi ricaviamo le seguenti due leggi:

1ª Le durate di una oscillazione di due pendoli di lunghezza diversa, che oscillino in un medesimo luogo, od in luoghi ove la gravità sia eguale, sono proporzionali alle radici quadrate delle lunghezze dei due pendoli. Difatti in questo caso, chiamando con l, l' le lunghezze dei due pendoli, e con t, t' le durate di una oscillazione, avremo $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, $t' = \pi\sqrt{\frac{l'}{g}}$, che poste in proporzione ci danno $t : t' = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} : \pi\sqrt{\frac{l'}{g}}$, e quindi $t : t' = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$.

Questa legge può verificarsi nel seguente modo: si prendano tre pendoli, le lunghezze dei quali siano 1, 4, 9, decimetri. Facendo oscillare i due primi, si vedrà che il più corto effettua due oscillazioni, mentre l'altro ne fa una, e da ciò comprendiamo che un pendolo quattro volte più lungo di un altro impiega un tempo doppio per fare un'oscillazione. Ma se facciansi oscillare il primo e terzo pendolo, vedrassi che quest'ultimo fa una sola oscillazione nel tempo, in cui il primo ne compie tre; dunque un'oscillazione di quello è fatta in un tempo triplo di quello impiegato in una oscillazione del pendolo corto.

2ª Le piccole ondulazioni del pendolo sono *isocrone*, cioè sono fatte in tempi eguali indipendentemente dalla loro maggiore o minore ampiezza. Difatti dalla formola $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ risulta, il tempo t dipendere dalla lunghezza del pendolo e dalla gravità del luogo, e non già dall'ampiezza dell'arco descritto dal pendolo. Per verifi-

care questa legge facciasi oscillare un pendolo, discostandolo alquanto dalla verticale, e si contino le oscillazioni da esso eseguite in un dato tempo. Fermato il pendolo, si discosti di nuovo dalla verticale, ma meno di prima, sicchè le oscillazioni siano più brevi, e si contino le oscillazioni effettuate nel medesimo tempo di prima: si vedrà che anche il numero di esse è il medesimo.

59. Pendolo composto. — Le leggi del pendolo semplice ora esposte si possono benissimo applicare al composto, avvertendo però che in questo per lunghezza del pendolo non deve già intendersi la sua lunghezza reale, ma la distanza che passa tra il suo centro di sospensione ed un altro punto, il quale chiamasi *centro di oscillazione*, e che trovasi nel modo seguente. Vicino al pendolo composto se ne colloca un altro che considerar si possa come semplice; e fatti oscillare ambedue, si allunga o si accorcia il semplice, cosicchè ciascuno abbia ad impiegare un egual tempo a compiere un'oscillazione. Ciò ottenuto, si pone il punto di sospensione del pendolo semplice su quello del composto, e quel punto di quest'ultimo, sul quale coincide il centro di gravità della lente del primo, è il cercato centro di oscillazione.

60. Applicazioni del pendolo. — Dalla formola $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ si ricava $g=\frac{\pi^2 l}{t^2}$, colla quale per mezzo di un pendolo si può conoscere qual sia la gravità in un dato luogo. In tal modo si è potuto dimostrare, che l'energia della gravità cresce col crescere della latitudine di un luogo, essendo massima ai poli, minima all'equatore. Ciò avviene perchè la terra è schiacciata ai poli, onde il suolo in queste parti è più vicino al centro della terra, dove deve considerarsi riconcentrata la gravità (46), e perchè la forza centrifuga, che si oppone alla gravità, è minima ai poli, massima all'equatore.

Foucault si è servito del pendolo per dimostrare il moto diurno della terra intorno al proprio asse. Invero, messo in moto un pendolo in una data direzione, si vede, che se esso può oscillare in tutti i sensi, dopo qualche tempo ha cambiata direzione. Si dovrà adunque dire, o che il pendolo da sè si è spostato, o che la camera, in cui si fa l'esperimento, ha girato; ma non può ammettersi il primo, perchè il pendolo è inerte (11); dunque deve conchiudersi, che la terra gira. Lo spostamento della direzione del pendolo misura lo spostamento rotatorio del suolo intorno ad un asse verticale; quindi è che nel polo la direzione del pendolo fa un giro completo in 24 ore, mentre nullo è lo spostamento all'equatore.

L'isocronismo del pendolo ha fatto applicarlo agli orologi. Un orologio a peso si compone di un cilindro, in un punto del quale è fisso l'estremo di una corda, che si ravvolge a più giri intorno ad esso, e regge coll'altro estremo un peso. Sull'asse del cilindro sta annessa una ruota dentata, che gira col cilindro stesso e comunica il moto ad un sistema di altre ruote dentate, le quali fanno muovere gl'indici a dovere. Se il grave cadesse liberamente, il moto della macchina sarebbe accelerato; il che si evita per mezzo di una ruota, il cui movimento è moderato da un pendolo. Una

verga ricurva, che dicesi *àncora*, è mobile insieme ad un asse, al quale è attaccata l'asta del pendolo: le estremità dell'àncora portano due denti i quali stanno vicini ai denti delle ruote, ed alternativamente si possono internare tra questi. Appena il pendolo si sposta dalla verticale, la ruota rimane libera e si muove; ma col procedere del pendolo un dente dell'àncora si pone tra due denti della ruota, e questa si ferma: torna in dietro il pendolo, e la ruota rimane di nuovo libera; si pone in moto e poi viene fermata dall'altro dente dell'àncora quando il pendolo giunge all'altro estremo dell'arco. La ruota dentata imprime al pendolo un urto, che gli rende in ogni oscillazione la velocità, la quale per gli attriti e per la resistenza dell'aria va perdendo. Se il pendolo batte il minuto secondo, ad ogni secondo la ruota avanza di un dente ed il moto è regolare.

61. Movimenti di locomozione del corpo umano. — La teoria del pendolo trova ancora applicazione nello studio dei movimenti di locomozione del corpo umano. Nel centro di gravità G di questo (fig. 37) immagineremo riconcentrato il suo peso p (47), la cui grandezza esprimeremo con il pezzo GP della linea di direzione della gravità. Nel medesimo punto G supporremo pure applicata la forza che mette in moto il corpo. Noi considereremo questo nell'atto, in cui la gamba rimasta in dietro, e che poggia sul suolo nel punto I', si distende, e col distendersi sviluppa una forza d'impulsione diretta nel senso della linea I'G, la quale forza, che indicheremo con f, intendiamo espressa dalla retta GF. Si decomponga questa in due (28), cioè nella GV diretta in senso contrario della gravità, e nella $GH = h$ diretta in avanti. Se il corpo non devesi muovere in alto, ma solo orizzontalmente, come avviene quando si cammina per il piano, la componente verticale GV, che chiameremo v, dovrà essere solamente eguale al peso p del corpo, onde tenerlo in equilibrio, e la componente orizzontale h spingerà il centro di gravità in avanti. Così è veramente, avendo osservato i fratelli Weber che un corpo, il quale cammina per un piano, soffre dei sollevamenti trascurabili, perchè non eccedono 32 millimetri. È poi manifesto, che col crescere dell'angolo I'GI cresce la componente h, perchè più si piega verso di essa la risultante GF, e quindi aumenta il seno dell'angolo VGF, a cui essa forza h è proporzionale (26). La forza d'impulsione f e per ciò la sua componente h non sono continue, ma si succedono ad intervalli regolari per l'alternato e regolare movimento delle due gambe. Se pertanto il corpo nel muoversi non avesse a vincere alcuna resistenza, il suo moto sarebbe uniformemente accelerato (17), il che non succede, perchè mentre una gamba spinge in avanti il corpo, l'altra recatasi già in avanti poggia finalmente nel suolo, e prova da questo una resistenza, che distrugge totalmente la velocità nata dall'impulso prodotto dalla prima. Ne risulterebbe quindi un arresto di locomozione, se la seconda gamba non prendesse ad adempiere l'officio, che esercitava la prima, spingendo in avanti il corpo e comunicandogli una velocità eguale a quella che prima aveva, e che va ad estinguersi nell'atto, in cui l'altro piede ricade nel suolo. Agendo in simil modo le gambe alternativamente, fanno sì che il camminare dell'uomo con-

sista in un moto periodico. Ciò nondimeno le gambe si avvicendano nel dare gli impulsi al corpo con tanta velocità e gli urti sono di tal fatta, che gli intervalli, in cui il corpo dovrebbe star fermo, sono brevissimi ed incalcolabili, sicchè il moto del corpo deve dirsi eguale a quello di un carriaggio, il quale quantunque spinto da una forza costante, pure non si muove con crescente velocità, perchè deve vincere una resistenza pure costante, la quale rende nullo l'aumento di velocità. Ecco poi come succedono gli atti con i quali le gambe sviluppano la forza, che spinge in avanti il corpo. Incominciamo dal punto in cui la gamba, che prima stava in alto, tocca il suolo. Quando il piede tocca il terreno, la gamba è alquanto piegata nel ginocchio, ma subito comincia a distendersi; allora la gamba propriamente detta serve di sostegno fisso alla coscia, e questa spinge in avanti il corpo. Allorchè la distensione dell'articolazione del ginocchio è completa, comincia a distendersi l'articolazione tibio-tarsica, si solleva il tallone, e la pianta del piede si va un poco alla volta distaccando dal suolo, come precisamente succede in una ruota da carriaggio, le cui parti di circonferenza si distaccano successivamente dal terreno dal di dietro al davanti. A misura poi che il piede stacca le varie sue parti dal suolo, esso esercita per mezzo della gamba un'azione propulsiva sul corpo. La forza impulsiva adunque, che agisce sul centro di gravità, non consiste in una successione d'impulsi istantanei, che si vadano ripetendo ad intervalli regolari, ma è una forza che agisce continuamente e con una intensità presso a poco eguale finchè la gamba non si distacca tolalmente dal suolo; il che successo, l'altra gamba già incomincia ad agire. Che se il piede si sollevasse tutto in una volta e con movimento istantaneo, come se fosse un trampolo, si avrebbe una notevole diminuzione nella forza d'impulsione e nella lunghezza del passo, onde la locomozione del corpo umano si effettuerebbe con maggiore lentezza, e si esigerebbe uno sforzo muscolare assai più grande.

L'avvicendarsi dei passi avviene con grande regolarità ad intervalli perfettamente eguali: tale regolarità procede da che i movimenti delle gambe si assoggettano alle leggi delle oscillazioni pendolari. Quando la gamba, che poggiava nel suolo, e che era rimasta in dietro, ha finito di distendersi, si accorcia per la flessione dell'articolazione del ginocchio, si distacca completamente dal terreno, e descrive un'oscillazione dal di dietro al davanti. Ma ogni corpo che oscilla intorno ad un asse può considerarsi come un pendolo composto; quindi la durata di un'oscillazione deve dipendere dalla lunghezza del corpo oscillante (58), o meglio dalla distanza, che passa dall'asse di rotazione al centro di oscillazione (59). Come adunque sono isocrone le oscillazioni di un pendolo, così isocroni debbono essere i passi; e l'eguale lunghezza delle due gambe importa, che di eguale durata siano i passi effettuati da ciascuna di esse.

Notare qui si deve, che appena una gamba ha terminato a distendersi e a distaccare il piede dal suolo, l'altra deve toccare il terreno ed incominciare a distendersi anch'essa, mentre la prima oscilla; cosicchè ordinariamente parlando, il tempo impiegato da

una gamba a distendersi è uguale a quello speso dall'altra a fare un'oscillazione. Mentre però il tempo necessario a compiere una oscillazione è invariabile, come è invariabile la lunghezza della gamba, il distendersi di questa può effettuarsi con una prestezza variabile a nostro piacimento, e più vogliamo camminare con celerità, più prestamente distendiamo le gambe. Viene da ciò che allorquando si cammina con prestezza, la gamba fissa al suolo si è già distesa, mentre quella, che oscilla, non ha ancora descritto tutto l'arco corrispondente ad un'oscillazione intera, la quale per ciò non può compiersi, perchè, come si è detto, la gamba oscillante deve poggiare in terra nell'atto stesso, in cui l'altra ha terminato di allungarsi. Al contrario quando si cammina lentamente la durata del movimento di distensione è precisamente uguale al tempo necessario all'altra gamba per fare un'oscillazione completa. Anzi qualche volta la durata del movimento di distensione è più lunga del tempo che si richiede per l'oscillazione, cosicchè la gamba oscillante ha già toccata la terra, e l'altra non se n'è ancora distaccata, e per ciò per un tempo apprezzabile tutte due poggiano nel suolo. Quando ciò avviene, una verticale spiccata dall'asse di rotazione, vale a dire dalla testa del femore, divide in due parti eguali l'angolo formato dalle due gambe. Se si cammina più rapidamente, la gamba oscillante, come si è detto, non compie la sua oscillazione, e conseguentemente la suddetta verticale non è più bissettrice dell'angolo, ma cade più vicino alla gamba anteriore. Che se si affretti anche di più il passo, può giungersi a tal punto, che la gamba oscillante non faccia se non mezza oscillazione nel tempo in cui l'altra totalmente si distende; nel qual caso, quando quella tocca il suolo, coincide colla verticale abbassata dal centro di rotazione. Oltre a questo limite non può più diminuire l'arco di oscillazione, perchè diversamente la linea di direzione della gravità cadrebbe costantemente fuori della base di sostenimento (49) ed il corpo si rovescerebbe. Nondimeno quando un uomo corre, la durata di distensione è minore del tempo necessario all'esecuzione di una semiondulazione, e per ciò non potendo la gamba oscillante per l'ora esposto motivo toccare il suolo prima di avere percorso almeno la metà dell'arco di oscillazione, si dovrà conchiudere che per breve istante ambedue le gambe si trovano distaccate dalla terra, ed il corpo è sospeso in aria.

Se quando si cammina a passi celeri la gamba che si muove non compie l'oscillazione intera, dovrebbero essere brevi i passi; il che spesso non si verifica in pratica. Ciò succede perchè allorquando camminiamo celeremente o corriamo, siamo soliti di tenere abbassato il nostro tronco, piegando alquanto le gambe. Da ciò deriva, che la gamba oscillante forma un pendolo più corto, il quale per conseguenza impiega minor tempo a fare una completa oscillazione (58). Mentre adunque la gamba fissa impiega poco tempo a distendersi, l'altra contemporaneamente fa un'oscilazione completa; ond'è che col detto abbassamento del tronco si ottiene, che i passi siano fatti in breve tempo, e che siano lunghi, e da qui si ha una doppia causa di velocità. Anche geometricamente si può dimostrare, che tenendosi accorciata la gamba fissa al suolo, il passo addi-

viene più lungo. Difatti (fig. 37) chiamisi con L la lunghezza della gamba, che si distacca dal suolo, e con l quella dell'altra allorchè coincide colla verticale, e con d la distanza I'I eguale a mezzo passo: per il triangolo rettangolo I'GI avrassi $d^2 = L^2 - l^2$, $d = \sqrt{L^2 - l^2}$. Sarà adunque il passo tanto più lungo, quanto più breve è l, ossia quanto meno il tronco è sollevato dal suolo, rimanendo costante la lunghezza L.

Allorchè noi camminiamo con celerità, teniamo il nostro tronco alquanto inclinato in avanti, e ciò per una triplice ragione: 1ª Quando il centro di gravità poggia sopra una gamba, trovasi in equilibrio instabile (50); ed essendo spinto in avanti, la linea di direzione della gravità esce dalla base di sostenimento (49) che in questo caso è la pianta del piede, ed il corpo cadrebbe, se in quel momento l'altra gamba, toccando il suolo, non impedisse la caduta. Se adunque vogliamo che il passo sia celere, dobbiamo portare il centro di gravità un poco avanti, perchè facilmente sporga fuori dalla base di sostenimento. 2ª Giova in secondo luogo l'inclinazione del tronco in avanti, perchè essendo il tronco collocato al disopra dell'asse di rotazione costituito dalla retta, che congiunge le teste dei femori, è in equilibrio instabile e tende a rotare dall'avanti in addietro e per ciò a cadere, perchè è spinto da una forza applicata in un punto posto al disotto del suo centro di gravità. Questa rotazione è impedita dalla detta inclinazione del tronco, senza la quale i muscoli flessori della coscia sul bacino sarebbero obbligati ad agire, e la locomozione riescirebbe più faticosa. 3ª Finalmente inclinando il tronco in avanti annulliamo l'effetto della resistenza dell'aria, che tende a rovesciarlo dal davanti all'indietro.

Un'altro movimento si effettua nel camminare con celerità. Mentre il corpo è sostenuto da una gamba, l'altra, oscillando, tende a farlo rotare intorno ad un asse verticale, cosicchè il corpo roterebbe in effetto alternativamente a destra ed a sinistra, se tal moto non fosse impedito da quello delle braccia, che facendosi in senso contrario al primo, produce un moto rotatorio in direzione contrario; ond'è che queste due rotazioni si elidono.

CAPO VI.

DELLA BILANCIA

62. Che cosa è bilancia — 63. Sua esattezza — 64. Sua sensibilità — 65. Bilancia di precisione — 66. Bilancia di Quintez o Bascule.

62. Che cosa è Bilancia. — Si disse (47) che il peso del corpo è proporzionale alla massa; e da ciò viene, che per conoscere quanta sia la massa di un corpo, si suole misurarne il peso. Si misura il peso di un corpo per mezzo della *Bilancia*, la quale è una leva di

primo genere a braccia eguali (30). Ad un estremo di un braccio si appende il corpo, il cui peso si vuol conoscere, ed all'estremo dell'altro braccio si attacca un peso noto, che faccia equilibrio al primo, e che gli deve per ciò essere eguale. Sia AB (fig. 38) l'asta della leva, la quale asta prende il nome di *fusto* o *giogo* ed è mobile intorno ad un asse in C in un piano verticale. Il detto fusto porta alle due estremità due piatti M, N sorretti da catenelle o da fili. Quando questi sono vuoti, il fusto deve rimanere perfettamente orizzontale. Se nel piatto M si ponga un corpo di peso ignoto m, e nell'altro un peso noto p, che faccia equilibrio al primo, si dovrà avere (32)

$$m : p = CB : CA.$$

ed essendo $CB = CA$, sarà pure $m = p$.

Perchè una bilancia sia pregevole deve avere due doti, cioè deve essere *esatta* e *sensibile*.

63. Esattezza di una bilancia. — Perchè una bilancia sia esatta, fa d'uopo che soddisfi a queste due condizioni: 1ª i due bracci debbono avere una lunghezza rigorosamente eguale: 2ª il centro di gravità del giogo deve essere posto al disotto del punto di sospensione del medesimo. Se i bracci non sono egualmente lunghi, il peso del corpo non sarà eguale al peso noto, perchè avremo una leva a braccia disuguali, e sarà maggiore quel peso, a cui corrisponde il braccio più corto (32). Per conoscere se una bilancia è falsa o no, dopo di avere stabilito l'equilibrio tra i due corpi collocati nei due piatti, si varia la loro posizione, collocando l'uno dei due corpi, ove prima si trovava l'altro, e viceversa. Se in questa seconda disposizione di cose l'equilibrio più non sussiste, sarà segno che la bilancia è *falsa*. Con una bilancia falsa potrassi conoscere il vero peso di un corpo, purchè si operi nel modo seguente. Sopra un bacino si pone il corpo di cui si vuole conoscere il peso, e sull'altro si pongono dei pallini di piombo o della sabbia. Stabilito l'equilibrio, si toglie il corpo, e ad esso si sostituiscono pesi noti, che abbiano a ristabilire l'equilibrio. È evidente, che in questo caso avendo il corpo ed i pesi noti agito sullo stesso braccio di leva, la disuguaglianza dei bracci non può nuocere alla pesata, e che quindi i pesi noti rappresentano esattamente il vero peso del corpo. Tale metodo dicesi *della doppia pesata*, ed è bene di metterlo sempre in pratica, quando trattisi di ricerche fisiche e chimiche, che esigano somma esattezza, essendo ben difficile di avere una bilancia rigorosamente esatta. Si può ancora fare uso di una bilancia falsa, operando in quest'altro modo. Si chiamino a, b i due bracci disuguali: si ponga il corpo m nel piatto corrispondente al braccio a, e nell'altro piatto si metta un peso noto p che al primo faccia equilibrio: Si avrà (32)

$$m : p = b : a, \text{ e quindi } a \times m = p \times b$$

Si traslochino poi, come si è detto di sopra, il corpo ed il peso noto, non sussisterà più l'equilibrio, e per ristabilirlo si porrà nel piatto un peso q invece di p; onde si avrà

$$m : q = a : b; \; m \times b = q \times a$$

Moltiplicando fra di loro le due ottenute equazioni, avremo $m^2 a . b = p . b . a . q$ da cui si ricava $m = \sqrt{p \times q}$

La seconda condizione per l'esattezza della bilancia è, come si disse, che il centro di gravità del fusto stia al disotto del punto di sospensione del fusto medesimo. Difatti il detto centro di gravità può coincidere col punto di sospensione, o gli si può trovare al disopra, o al disotto. Nel primo caso la bilancia è in equilibrio indifferente (50), onde essa sta in qualunque posizione, quando i bacini sono vuoti, o carichi di pesi eguali. Nel secondo caso l'equilibrio della bilancia è instabile, e quando verrà smossa anche leggermente dalla sua posizione di equilibrio, traboccherà da una parte o dall'altra, senza che il giogo torni da sè all'orizzontalità; tale bilancia dicesi *folle*. Nel terzo caso poi il fusto è in equilibrio stabile, e rimosso dalla posizione orizzontale la riprende da sè quando i piatti siano vuoti o carichi di pesi eguali: che se questi sono disuguali, prende il giogo una posizione inclinata più o meno secondo la maggiore o minore differenza dei pesi. A bene intender ciò, s'immagini essere C (fig. 39) il centro di sospensione del fusto, e G il suo centro di gravità, essendo A il punto di sospensione del bacino gravato del maggior peso. La bilancia s'inclinerà da questa parte, e si solleverà dalla parte opposta il centro di gravità G sino a che il peso del fusto, che trovasi riconcentrato in G, non faccia equilibrio alla eccedenza del peso attaccato in A. Si avrà così una leva di primo genere a braccia disuguali (32) espresse da CB, CE, o ciò che è lo stesso da AN, GM, e si comprende che quanto più s'inclina la bilancia, tanto più decresce AN e si aumenta MG. Dunque tanto più deve inclinarsi il fusto, quanto maggiore è la differenza dei pesi collocati sui due piatti. Per conoscere se il giogo stia orizzontale o no e per misurare il grado d'inclinazione, si fa sorgere dal mezzo del fusto un indice, che chiamasi *giudice* e che marca lo zero od i gradi d'inclinazione sopra un arco graduato.

64. Sensibilità della bilancia. — La sensibilità di una bilancia si misura col porre in un bacino di essa un piccolo peso, lasciando vuoto l'altro piatto. Si cresce poi un poco alla volta quel peso finchè non sia venuto tale, da turbare l'equilibrio. Quanto minor peso è necessario a produrre un tale effetto, tanto più sensibile è l'apparato. Le condizioni poi che deve avere una bilancia per essere molto sensibile sono le seguenti: 1ª il giogo deve essere lungo, perchè quanto più lunghi sono i bracci di leva, tanto più grande è il momento del pesetto aggiunto al bacino (31). 2ª Il fusto deve essere leggiero, affinchè il suo peso concentrato in G (fig. 39) presenti il minore ostacolo possibile ad essere sollevato. 3ª Deve essere minimo l'attrito tra il perno del giogo ed il sostegno che lo regge: ond'è che il detto perno si fa a triangolo coll'angolo, su cui poggia, assai acuto. 4ª Il centro di gravità del fusto deve essere più vicino che sia possibile al centro di sospensione, perchè il suo braccio di leva CE, quando la bilancia sia inclinata, sia assai breve. 5ª Il centro di sospensione del fusto deve coincidere colla retta, la quale unisce i punti di sospensione dei piatti. In vero, alla metà di questa retta si trova applicata la risultante dei pesi eguali collocati nei bacini, e per ciò al detto punto di mezzo della retta suindicata

dassi il nome di *centro dei pesi*. Ora se questo centro trovisi al disotto del punto di sospensione del fusto, bisognerebbe alzarlo per inclinare il giogo, il che importerebbe uno sforzo, il quale renderebbe la bilancia meno sensibile. Che se invece gli fosse al disopra, potrebbe rendere la bilancia folle, quando i pesi fossero notevoli. È adunque necessario, che il centro dei pesi coincida con il punto di sospensione del fusto.

65. Bilancia di precisione. — Per gli sperimenti chimici si fa uso di una bilancia di precisione, colla quale si può misurare anche un peso di mezzo milligramma. Il fusto di questa è per lo più cavo, il che lo rende più leggiero; e siccome l'asta, che lo forma, ha il lato più lungo della sua sezione in posizione verticale, è bastevolmente resistente. Il giudice è diretto al disotto della leva, ed avendo una lunghezza quasi eguale all'altezza della colonna, che regge il fusto, segna i gradi d'inclinazione di questo in un quadrante fissato nella base. Il perno con cui si muove il giogo è a guisa di un cortello di acciaio, che poggia in un piano di durissima agata incassato in un pezzo di metallo fissato perpendicolarmente alla colonna verticale. Per non fare inutilmente gravitare il fusto contro l'agata, quando non si usa la bilancia, si fanno per mezzo di un bottone innalzare due forchette, che vanno così a sostenere il fusto, e che si abbassano quando l'apparato si deve mettere in opera. Al disopra del giogo e precisamente nel suo mezzo i costruttori sogliono fissare una vite di piccolo passo munita di madrevite mobile: allontanando questa dal fusto, si avvicina il centro di gravità al punto di sospensione, e così si aumenta a piacere la sensibilità dell'apparato. Si deve però abbadare di non elevar troppo la madrevite; perchè in tal modo si potrebbe portare il centro di gravità al disopra del punto di sospensione, rendendo folle la bilancia. Una cassa di cristallo protegge l'istrumento, ed ha la parte anteriore tale che possa aprirsi, onde introdurre gli oggetti da pesarsi ed i pesi noti (*).

66. Bilancia di Quintez. — Questa bilancia così detta dal nome del suo inventore serve a pesare il corpo umano ed i grossi carichi. Consiste in una piattaforma M (fig. 40) che riposa in un sistema di leve, di cui qui a poco parleremo. Su questa si pone il corpo che si vuole pesare, ed è attaccata per mezzo delle dette leve e delle aste H, D al braccio di leva più corto CA nel modo che esporremo poco appresso. All'estremità del braccio più lungo BC è attaccato un piatto *p*, su cui si mettono i pesi noti, che debbono fare equilibrio al corpo posto sulla piattaforma. Per alleviare i cortelli che portano questa, e per evitare gli urti nello scaricamento, dopo fatta la pesata si solleva per mezzo di una impugnatura un perno che trovasi

(*) Quando si esiga nella pesata una scrupolosa esattezza si debbono usare le seguenti cautele: 1° Si deve collocare la bilancia sopra una base in muratura, o sopra una mensola robusta infissa al muro lontana dalla via percorsa dai carri: 2° Si deve preservarla da forti cangiamenti di temperatura e dalla irradiazione diretta del sole: 3° Conviene disporre verticalmente la colonna per mezzo di un filo a piombo, o di una livelletta, che si adatta alla base, affinchè il giudice corrisponda allo zero: 4° Inclinando un poco il fusto, si deve osservare se il suo equilibrio è stabile, ovvero se la bilancia è folle.

al disotto. L'orizontalità del giogo viene indicata da due indici m, n uno fisso al sostegno, l'altro unito al fusto. Onde comprendere come agisca l'apparato, bisogna sapere come la piattaforma sia unita al suo braccio di leva. Una leva ih (fig. 41), la quale si biforca sotto la piattaforma, si appoggia con una sua estremità su di un fulcro i, ed è congiunta nell'altra coll'estremo inferiore dell'asta Lh portata dal giogo. Sulla leva ih si appoggia in s una seconda leva eg collegata in g all'asta ag, anch'essa portata dal fusto. Le cose poi sono così disposte, che essendo la distanza is la quinta parte di ih, anche Oa è la quinta parte di OL. Da questa disposizione vengono due vantaggi, che ora ci facciamo ad esporre. 1° Quando il fusto oscilla, la piattaforma A si muove rimanendo sempre orizontale. Difatti essendo OL cinque volte maggiore di Oa, il punto L si abbassa cinque volte più di a, e perciò anche l'abbassamento di h sarà cinque volte maggiore di quello di g. Essendo d'altronde si cinque volte più breve di hi, il punto s si abbassa cinque volte meno di h, ossia egualmente si abbassano g ed s, e per conseguenza la piattaforma nell'abbassarsi rimane sempre orizontale. 2° La pressione esercitata sui punti di sospensione dal carico posto in A è indipendente dal luogo, che esso occupa sulla piattaforma, ed agisce sempre come se il detto corpo fosse immediatamente appeso all'asta ag. Invero si supponga, che un peso p sia collocato sulla piattaforma in maniera, che disti da s di un terzo dell'intiera leva gs, si avrà come una leva di secondo genere, in cui la potenza è applicata in g. Chiamando x tale potenza si avrà (32)

$$x : p = 1 : 3;\ \text{onde}\ x = \frac{p}{3}.$$

Diremo pertanto che un terzo di p si trova applicato in a: gli altri due terzi del peso dovranno per conseguenza gravitare in s, ed indicando con x' la potenza relativa a quest'ultima leva, la quale potenza trovasi applicata in h, si avrà:

$$x' : \frac{2p}{3} = 1 : 5,\ \text{e per ciò sarà}\ x' = \frac{2p}{3 \times 5},$$

che ci dice, reggere il punto L una parte del peso eguale a $\frac{2p}{3 \times 5}$. Ma un peso applicato in L produce l'istesso effetto nella bilancia, che un peso cinque volte più grande applicato in a: dunque invece di dire, che in L si regge il peso $\frac{2p}{3 \times 5}$, possiamo dire, che in a è, sorretto un peso eguele a $\frac{2p}{3}$; e perciò conchiuderemo aversi come se un peso eguale a $\frac{p}{3} + \frac{2p}{3}$, cioè tutto p, fosse retto dal punto a. Se adunque il peso si può sempre immaginare applicato in a, ne segue che per fargli equilibrio bisogna porre nel piatto D un peso tanto minore quanto più lungo è il braccio R in confronto di Oa (32). In tutte le bilancie di tal genere Oa è la decima parte di OR, e per conseguenza i pesi, che sono nel piatto D, debbono essere mol-

tiplicati per 10 per eguagliare il peso del corpo collocato sulla piattaforma.

Abbiamo detto, che colla descritta macchina si pesa il corpo umano, il che sovente deve fare il medico. Ad esempio nelle convalescenze delle febbri gravi, e specialmente della tifoide, il medico trova interesse di conoscere il progredire dell'aumento del peso del corpo. Quando i bambini crescono di molto senza aumentare il peso, ne deduce il medico, che la nutrizione è anormale.

CAPO VII.

MOTO VIBRATORIO

67. Oscillazione di un punto intorno alla sua posizione d'equilibrio. — Abbiamo noi parlato del moto uniforme (18), del moto uniformemente accelerato (52) e del moto uniformemente ritardato (56): abbiamo ancora esaminato, parlando del pendolo, un caso particolare del moto vibratorio (58). Siccome però le leggi generali del moto vibratorio debbono ben conoscersi per l'intelligenza di molti fenomeni relativi all'acustica, alla termologia ed all'ottica; dedichiamo, seguendo Wundt, il presente capitolo allo studio delle suddette leggi.

Sia M (fig. 42) un punto materiale, che riceva un impulso istantaneo diretto secondo MA. Se il detto punto materiale non fosse soggetto ad alcun'altra forza, dovrebbe muoversi con moto uniforme nell'indicata direzione, proseguendo indefinitamente nella medesima. Ma se al contrario esso è sottoposto ad altre forze, le quali tendano a ritenerlo nella posizione M, subirà una continua diminuzione di velocità, cosicchè giunto in un dato punto A, la sua velocità rimarrà totalmente estinta; nè ivi però potrà fermarsi, poichè le forze, che tendono a riportarlo in M, seguitano ad agire ed obbligano il punto materiale a tornare indietro con velocità sempre crescente, poichè le suddette forze ridanno ad esso quei gradi di

velocità, che prima gli avevano tolto. Arrivato pertanto il corpo al punto, da cui era partito, si troverà avere quella medesima velocità, che aveva ricevuta dall'impulso istantaneo, ma in direzione opposta: quindi non si fermerà in M, ma procederà oltre, e con moto ritardato giungerà ad un punto B distante da M di tanto, di quanto da M dista A. Pervenuto in B dovrà ritornare verso M con moto accelerato, oltrepasserà M, e con moto ritardato si porterà in A, e così compirà da una parte e dall'altra del suo punto d'equilibrio un numero indefinito di oscillazioni. Lo spazio AB compreso tra le due posizioni estreme del corpo oscillante dicesi *ampiezza* della vibrazione e *durata* il tempo impiegato dal corpo a percorrerlo due volte, andando cioè da A in B, e poi da B in A.

È chiaro, che se la forza, che riconduce il mobile al suo punto di equilibrio, fosse costante, il moto del corpo, quando questo si allontana dal detto punto di equilibrio, sarebbe uniformemente ritardato, ed uniformemente accelerato quando torna verso di esso: ma questa costante intensità della forza non si verifica in natura; poichè in generale più il mobile è spostato dalla posizione di equilibrio, più intensa è la forza che tende a ricondurcelo. Si supponga che MB sia una verga elastica tenuta fissa in B: e si stiri l'altra estremità M fino a farla giungere in A', cosicchè la verga abbia a subire un'allungamento eguale ad MA'. Lasciata allora libera la verga, questa per la sua elasticità riprende la lunghezza primiera MB. Si torni a stirarla in modo che l'allungamento MA sia doppio del primo. Cessata la trazione, tornerà la verga di nuovo alla prima lunghezza, ma vi tornerà con una velocità doppia di quella, con cui si accorciava nel primiero esperimento, perchè la forza, che la riporta alla sua normale lunghezza, è l'elasticità, la quale è proporzionale all'allungamento dal corpo subito. Nel medesimo modo si comporta una forza qualunque, che tende a richiamare la molecola oscillante al suo punto di equilibrio; ond'è che i moti, coi quali la molecola al detto punto si avvicina, o da esso si allontana, sono bensì accelerati e ritardati, ma non già uniformemente. Conseguenza di ciò è che le oscillazioni debbono essere isocrone, cioè non deve variare la loro durata, quantunque cambi la loro ampiezza. Difatti è chiaro, che la durata deve essere nella ragione inversa della forza, che richiama il corpo al punto di equilibrio: ma si è detto ora, che quanto più ampia è l'oscillazione, ossia quanto più il corpo si porta lontano dalla sua normale posizione, tanto maggiore è la suddetta forza; dunque se la vibrazione è più ampia, è anche maggiore la velocità del corpo oscillante; e per conseguenza la durata è indipendente dall'ampiezza della vibrazione.

68. Legge della durata delle vibrazioni di una molecola. — Risulta dall'esposto esistere una relazione tra la forza, che richiama la molecola al suo punto di equilibrio, e la durata della vibrazione, essendo questa tanto più breve, quanto più è energica quella. Matematicamente si è dimostrato, che chiamando con t la durata di una completa vibrazione consistente in una andata ed in un ritorno della molecola da un punto estremo all'altro, con π il rapporto tra il diametro e la periferia, con f la forza e

con m la massa del corpo oscillante, si ha $t=2\pi\sqrt{\frac{m}{f}}$. Se adunque si voglia esprimere il tempo t' speso da un altro corpo di massa m' ed obbligato a vibrare da una forza f' per compiere un'oscillazione, dovrà farsi $t'=2\pi\sqrt{\frac{m'}{f'}}$, e quindi si avrà:

$$t : t' = 2\pi\sqrt{\frac{m}{f}} : 2\pi\sqrt{\frac{m'}{f'}}, \text{ ossia } t : t' = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{f}} : \frac{\sqrt{m'}}{\sqrt{f'}}.$$

La quale proporzione insegna, essere le durate delle vibrazioni nella ragione diretta delle radici quadrate delle masse vibranti, e nella inversa delle radici quadrate delle forze sollecitanti le dette masse a tornare alla loro posizione di equilibrio.

Elevata al quadrato la precedente proporzione, passa ad essere

$$t^2 : t'^2 = \frac{m}{f} : \frac{m'}{f'}$$

e siccome le durate delle vibrazioni sono nella ragione inversa delle velocità, chiamando con v, v' le velocità delle molecole oscillanti, potremo fare

$$v'^2 : v^2 = \frac{m}{f} : \frac{m'}{f'}$$

che si può convertire nella seguente

$$v'^2 : v^2 = \frac{f'}{m'} : \frac{f}{m}$$

della quale apprendiamo, che il quadrato della velocità della vibrazione è nella ragione diretta della forza acceleratrice e nell'inversa della massa oscillante.

69. Vibrazioni longitudinali. Onde condensate e dilatate. — Abbiamo fin qui considerato il punto oscillante come isolato ed indipendente da altre molecole vicine, il che non avviene in natura. Le molecole dei corpi sono tanti punti materiali fra loro collegati, e che si trovano ad una data vicendevole distanza determinata dal rapporto, che passa tra le forze attrattiva e ripulsiva (2). Se si tenta di avvicinare una molecola all'altra, la forza ripulsiva tende ad allontanarle di nuovo; ma se forzatamente si allontana di più una molecola dall'altra, è la forza attrattiva quella, che le obbliga a riavvicinarsi. Si considerino ad esempio (fig. 43 *a*) le tre molecole A, B, C, che supponiamo dipendenti fra loro per le dette due forze e collocate nella loro posizione di equilibrio. La molecola A riceva un impulso istantaneo, il quale la spinga verso B: si muoverà, ma con moto ritardato per la ripulsione, che su di essa esercita B, e giunta in A' (*b*) avrà perduta del tutto la velocità ricevuta per l'urto. Seguitando però B' a respingere A', questa tornerà indietro con moto accelerato. Ma mentre A' torna indietro, B' procede con moto ritardato verso C', perchè se B' respinge A', anche A' respinge B', e quindi allorchè la prima è tornata alla sua primitiva posizione A'' (*c*), la seconda avendo perduta tutta l'acquistata velocità arrestasi in B'', per ritornare poi indietro con moto accelerato. La molecola A per la velocità acquistata nel moto accelerato non

si ferma nella posizione di equilibrio A″, ma procede oltre e fermasi in A‴ (*d*) quando la B è tornata alla posizione di equilibrio B‴. Questa per la velocità acquistata procede nella sua via, ed intanto per la forza di attrazione A‴ retrocede, ed ha luogo la disposizione (*e*). Tale movimento vibratorio sarà comunicato dalla molecola B alla C, e così da molecola in molecola si diramerà ai punti più distanti. Se adunque si abbia un sistema di più punti materiali collegati per le forze attrattiva e ripulsiva, e si faccia oscillare uno di essi, l'oscillazione di questo si anderà propagando da un punto all'altro, ed in fine tutto il sistema si troverà in vibrazione. Ma siccome per la propagazione del detto moto è necessario un qualche tempo, i varii punti oscillanti non si trovano mai contemporaneamente alla medesima posizione relativamente al punto d'equilibrio; ma mentre, ad esempio, A si avvicina a questo, B se ne allontana. Si dice che B ed A sono in *fase* diversa. Da questa diversità di fase dei diversi punti del sistema risulta, che in ciascuna parte di esso si producono delle alternative di avvicinamento e di allontanamento delle molecole, ossia delle *condensazioni* e delle *dilatazioni*. Ad esempio nella disposizione (*c*) si ha in A″ B″ una dilatazione, ed in B″ C″ una condensazione; viceversa nella (*e*) si ha in A⁗ B⁗ una condensazione ed in B⁗ C⁗ una dilatazione. Se s'immagini una serie di punti materiali, le varie parti *a*, *b*, *c*, *d*... (fig. 44) di questo sistema si troveranno alternativamente una in fase di condensazione, l'altra in fase di dilatazione, e nell'istante successivo quella parte che prima era dilatata troverassi condensata, e quella che era condensata verrà ad essere dilatata. Ond'è che se indichiamo col segno + la fase di condensazione, e col segno — quella di dilatazione, le dette parti *a*, *b*, *c*... del sistema negli istanti dispari si troveranno in fasi indicate dai segni posti al disopra, e nei pari in fasi espresse dai segni collocati al disotto. Ciò posto, se consideriamo la fase di condensazione che nel primo istante vediamo in *a*, nel secondo la troviamo in *b*, nel terzo in *c* ecc... Per il che potremo conchiudere, che la fila delle molecole oscillanti è percorsa da un estremo all'altro da una condensazione, la quale cammina in una maniera continua, passando successivamente da una parte alla seguente, e questa condensazione è seguita da una dilatazione, che nel medesimo modo si trasmette da una parte all'altra e colla medesima velocità,

È poi manifesto, che nulla verrebbe alterato di ciò che si è detto, se in vece di essere i soli punti A, B, C... (fig. 43), che alternativamente e successivamente si avvicinano, e si allontanano a vicenda, fossero molti i punti materiali, che prendono parte a ciascuna condensazione e dilatazione. S'immagini, ad esempio, che tra A e B, e tra B e C vi sia un grandissimo numero di molecole materiali, e si supponga che l'urto primitivo, causa delle vibrazioni, spinga verso B simultaneamente tutte le molecole poste tra A e B: ne verrà per effetto un avvicinamento di tutte queste molecole, ossia una condensazione, che si propagherà nel suddetto modo da una parte all'altra del sistema. Le dette molecole si allontaneranno di poi fra di loro, ed avrà luogo una dilatazione, la quale scorrerà pure per tutto il sistema, prendendo parte a ciascuna condensa-

zione e dilatazione, che avvengono nelle successive parti di esso sistema, un grandissimo numero di molecole. Di tal genere è il moto vibratorio, che ha luogo in natura, e che ci si presenta nei corpi, aggregati di punti materiali, collegati gli uni cogli altri. Proviene da questo vincolo che il moto vibratorio si estingue tanto facilmente, se non persevera la causa, la quale lo produce; della qual persistenza di causa non si avrebbe bisogno quando si trattasse di un sol punto materiale indipendente da altre molecole, che possano presentare resistenza al suo moto.

Le vibrazioni, che hanno luogo nel senso longitudinale, si possono graficamente esprimere nel modo seguente. Rappresenti la retta AE (fig. 45 *a*) una serie di molecole oscillanti longitudinalmente: dai singoli punti di questa retta si tirino tante perpendicolari proporzionali al grado di condensazione, o di dilatazione relativo a quei punti, inalzandole sopra alla retta, se trattisi di condensazione, o guidandole al disotto, se ivi abbia luogo una dilatazione. Si conduca poi la curva ABCD per le estremità di dette normali: questa linea ondulata rappresenterà la disposizione delle molecole all'istante, in cui il movimento vibratorio, che parte da A, si propaga fino a D. Si scorge da essa curva, che la condensazione, nulla nei punti A, B, va crescendo da ambe le parti, finchè è massima alla metà di AB, perchè ivi affluiscono e s'incontrano le molecole, le quali in direzione opposta si muovono da ambedue le parti. Si vede egualmente, cha tra B e C ha luogo una dilatazione massima nel mezzo, minima ai punti B, C. Propagandosi, come di sopra abbiamo detto, le condensazioni e dilatazioni da A verso E, ogni parte del sistema passerà successivamente per tutte le fasi, cosicchè il massimo di condensazione *m* anderà scorrendo da A verso E. Per farcene una idea basta d'immaginare che la curva A*m*BCD si sposti senza cambiare di forma, e se, ad esempio, l'osserveremo quando il punto D sarà giunto in E′ (*b*), ci sarà manifesto, che la prima condensazione A*m*B è passata in B′C′, ove prima aveva luogo una dilatazione; che la dilatazione BC si è trasportata in C′D′, ove prima esisteva una condensazione; che la condensazione CD trovasi ora in D′E′, mentre in A′B′, ove ha avuto luogo la prima condensazione, adesso ha preso posto una dilatazione. Adunque una curva ondulata bene esprime il moto vibratorio, il quale per ciò appellasi anche *ondulatorio*.

Nei casi fin qui studiati, il moto vibratorio delle molecole si effettua nel senso della lunghezza, secondo la quale esso moto si propaga, ed in questo senso vi è una successione regolare di parti alternativamente condensate e dilatate. È per questo che abbiamo dato a tali vibrazioni l'epiteto di *longitudinali*. Si chiama poi *semionda condensata*, ovvero *onda positiva* quella parte di movimento che corrisponde ad una condensazione di molecole, e *semionda dilatata* od *onda negativa* quella parte che corrisponde ad una dilatazione. La parte convessa A*m*B rappresenta l'onda positiva, la parte concava B*n*C l'onda negativa, e l'intervallo AC, che abbraccia un'onda positiva ed un'onda negativa, prende nome di *lunghezza dell'onda*. È ben chiaro poi per tutto quello che si è detto fino ad ora, che le curve ondulate non danno già la forma reale

delle traiettorie percorse dalle molecole oscillanti, ma solo indicano l'intensità delle condensazioni e dilatazioni, che hanno luogo nelle varie parti di un sistema in un dato istante.

Risulta dalle cose esposte, che quando il moto vibratorio ha progredito di un numero pari di semilunghezze d'onda, ciascuna parte del sistema si trova nella medesima fase, con cui ha cominciato, cioè dove in principio era una condensazione vi è ancora adesso, e vi è pure adesso una dilatazione dove vi era in principio; e che al contrario le varie parti del sistema avranno fasi contrarie a quelle, nelle quali si trovavano in principio, allorchè il moto vibratorio si è avanzato per un numero dispari di semilunghezze di onda. Ben si vede ancora, che se nel punto, ove si è rotto l'equilibrio, ha cominciato il moto con una condensazione, esso moto si propaga avendo in testa una condensazione; mentre avrà in capo una dilatazione, quando con questa ha incominciato nel punto di partenza.

70. Ampiezza e durata della vibrazione in un mezzo elastico. — Il grado di condensazione e di dilatazione di un'onda dipende dall'intensità dell'urto iniziale che ha prodotto il moto vibratorio. Invero, se quest'urto è intenso, grande sarà lo spostamento di ciascuna molecola dal suo punto d'equilibrio, quindi grande l'ampiezza della sua vibrazione, e perciò le molecole oscillanti in senso opposto assai si avvicineranno tra loro nell'onda condensata, e molto si discosteranno nella dilatata. Essendo adunque l'ampiezza della vibrazione di ciascuna particolare molecola proporzionale al grado di condensazione o dilatazione, essa ampiezza viene espressa graficamente dando alla convessità o concavità della linea ondulata una proporzionale altezza.

La velocità della vibrazione dipende da una parte, come nel movimento oscillatorio di un punto isolato (67), dalla forza tendente a riportare le molecole alla posizione di equilibrio, e dall'altra dalla loro vicendevole distanza, ossia dalla densità del corpo. La forza che riporta le molecole alla posizione di equilibrio è la forza elastica (10). Siccome noi abbiamo veduto (68), che i quadrati delle velocità delle vibrazioni sono proporzionali alle forze che riconducono le molecole al punto d'equilibrio; diremo che essi quadrati delle velocità sono nella ragion diretta delle forze elastiche. Influisce poi, come abbiamo asserito, sulla velocità delle oscillazioni anche la densità del corpo; imperocchè col crescere della densità decresce la distanza vicendevole delle molecole e quindi viene a diminuirsi la facilità del moto delle medesime; ed è facile il dimostrare che il quadrato della velocità delle vibrazioni è nella ragione inversa della densità del corpo. Invero si riprenda la formola (68) $t=2\pi\sqrt{\frac{m}{f}}$ nel nostro caso dovremo in questa mettere invece della forza f l'elasticità e, e poichè la massa m è proporzionale alla densità d, potremo sostituire d ad m, e così avremo la formola $t=2\pi\sqrt{\frac{d}{e}}$, che mostra esser vero il nostro asserto.

Quello però che si è ora detto ha luogo quando si tratti di un sistema di vibrazioni causato da un'urto istantaneo, che più non

si ripete, e non già nel caso nel quale la causa perturbatrice dell'equilibrio continui ad agire. A quelle ondulazioni dassi il nome di *vibrazioni proprie del corpo*, e la loro velocità è sempre la medesima, perchè dipende dalla elasticità e dalla densità del corpo, che sono costanti. Le vibrazioni proprie del corpo possono trasmettersi al mezzo, in cui questo si trova, ed allora in generale le oscillazioni in detto mezzo conservano la velocità medesima, che hanno nel corpo da cui provengono. Ad esempio, quando vibra una corda, essa dà all'aria che la circonda un urto per ogni vibrazione, e perciò le molecole dell'aria sono costrette a vibrare con velocità eguale a quella della corda. Si dà il nome di *vibrazioni trasmesse* a queste delle quali ora parliamo, e che in un medesimo mezzo possono avere durate variabilissime.

71. Velocità della propagazione delle vibrazioni. — In un sistema di punti materiali insieme collegati più le vibrazioni sono rapide, più è breve la lunghezza dell'onda. Difatti (fig. 46) il punto A abbia ricevuto un urto che lo spinga verso E. Durante il tempo, che il punto A consuma nel tornare alla sua posizione iniziale, l'urto si va sempre più propagando alle successive molecole, producendosi così un'onda condensata AB, la quale per conseguenza sarà tanto più lunga, quanto maggiore sarà quel tempo, ossia quanto minore è la velocità delle oscillazioni effettuate da A, in modo che se quel tempo è ridotto alla metà, ossia se la velocità delle oscillazioni è doppia, l'urto si comunicherà alla metà dei punti materiali di prima, e la lunghezza dell'onda condensata sarà A'B'. Nel medesimo tempo però il moto in ambedue i casi percorre spazii eguali AB, A'C', e solo vi è la differenza, che nel primo caso quello spazio è occupato da una sola onda condensata, mentre nel secondo è occupato da un'onda condensata e da una dilatata. Si conchiude adunque che la velocità di propagazione del movimento vibratorio è costante in un dato mezzo, ma la lunghezza dell'onda è nella ragione diretta della durata di una vibrazione.

Quando si conosce la velocità V con cui si propaga il moto ondulatorio in un dato corpo, e la durata T di una vibrazione, si può conoscere anche la lunghezza l di un'onda. Invero questa lunghezza sarà lo spazio percorso dal moto vibratorio in un tempo T, e con velocità V con moto uniforme; onde sarà (18) $l = V \times T$, da cui si deducono $V = \frac{l}{T}$, $T = \frac{l}{V}$.

S'indichi con n il numero delle vibrazioni, che si effettuano in un secondo, e si avrà $n \times T = 1$, e quindi $T = \frac{1}{n}$; sostituito tal valore nella prima formola, si verrà ad avere $l = \frac{V}{n}$. Quando adunque un sistema di vibrazioni viene trasmesso ad un altro mezzo, in cui il moto si propaghi con maggiore velocità, siccome per quello che si è detto non si cambia la velocità di vibrazione, e perciò non si cambia n, dovrà necessariamente crescere l, ossia saranno più lunghe le onde. Ad esempio, vedremo in acustica, che le onde sonore si propagano con velocità quattro volte maggiore nell'acqua

che nell'aria (331), ne dedurremo, che le onde sonore sono più lunghe quattro volte di più nel primo che nel secondo mezzo.

72. Onde sferiche, superficiali, lineari. — Le onde lineari che sin qui sono considerate, e che avrebbero luogo in una serie di punti materiali collocati in una retta, non si verificano in natura, poichè una molecola che si mette a vibrare è sempre da ogni parte contornata da altre molecole, di cui turba l'equilibrio in modo che il moto vibratorio di quella si trasmette nello spazio in tutti i sensi. Devesi pure notare, che non è una sola molecola quella che in principio si pone a vibrare, ma come abbiamo già indicato, un gruppo di più molecole. Si consideri pertanto un gruppo molecolare oscillante: questo si dovrà ritenere come un centro, da cui partono in tutti i sensi ed in numero indefinito tante serie lineari di condensazioni e di dilatazioni. L'onda adunque non si propagherà secondo una linea retta, cioè non sarà lineare, ma si avanzerà sotto forma di una semplice curva contornante il centro di scotimento, da cui si allontana, sempre più ingrandendo. Qui si noti che il mezzo, in cui si propaga il moto vibratorio, può essere *isotropo* od *anisotropo*. È isotropo quando esso presenta le medesime proprietà in tutte le direzioni, cosicchè il detto moto in esso mezzo si propaga con una medesima velocità in ogni direzione. Dicesi al contrario anisotropo il mezzo, allorchè presenta diverse proprietà nelle diverse direzioni, e quindi la velocità di propagazione del moto non è in tutte le direzioni eguale. Se il mezzo è isotropo, le onde sono sferiche, ed allora facendo passare un piano per il centro di scotimento, si avrà nella sezione un piano, in cui le onde condensate e diradate sono rappresentate da cerchi concentrici. Per darne un esempio, sia O (fig. 47) un punto materiale circondato d'aria da tutte le parti. Oscillando O, la vibrazione si propagherà allo strato di aria che lo circonda, e le molecole di questo strato, dopo essersi allontanate dal centro di scotimento, ritorneranno indietro ed oscilleranno da una parte all'altra della loro posizione iniziale. Ne risulteranno quindi delle oscillazioni longitudinali che cammineranno nella direzione dei raggi OG, OG' in tutti i sensi, formando nella totalità un'onda sferica progressiva. Che se il mezzo è anisotropo, non propagandosi il moto con eguale velocità in tutti i sensi, la superficie dell'onda non può essere sferica.

In molte circostanze il moto vibratorio non si può propagare in tutte le direzioni: così un'onda a tre dimensioni, quale è la sferica, non ha luogo in un corpo che ha estese od una sola o due dimensioni, come ad esempio sono una corda ed una membrana. Le vibrazioni, che avvengono in una sottile verga od in una corda, possono considerarsi come onde lineari, e quelle di una membrana possono stimarsi come formanti un'infinità di onde lineari, che nell'assieme costituiscono un'onda superficiale. Le onde poi sì superficiali, che lineari, quando il corpo vibrante sia collocato in un mezzo indefinito come l'aria, trasmesse a questo mezzo, si convertono in onde sferiche.

73. Produzione delle vibrazioni longitudinali. — Le vibrazioni longitudinali, di cui si è fin qui trattato, possono pro-

dursi nei solidi, liquidi e nei gas. Ad esempio se si produce una pressione od una trazione in un estremo di una verga di vetro o di metallo nel senso della sua lunghezza, si viene a determinare nella detta verga la formazione di vibrazioni longitudinali, le quali si fanno pur nascere in un liquido o gas racchiusi in un tubo ermeticamente chiuso, quando per mezzo di uno stantuffo, che attraversi una parete del tubo, si produca nella massa fluida una compressione momentanea.

74. Vibrazioni trasversali. — Abbiamo detto aversi vibrazioni longitudinali, quando le molecole collocate nel senso di una retta si avvicinano ed allontanano in modo che la trajettoria delle singole molecole è una retta coincidente con quella, secondo la quale il moto vibratorio si propaga: il qual sistema di onde è prodotto da un urto diretto nel medesimo senso della propagazione del moto. Ben diverso è il sistema di vibrazioni che nasce da un urto istantaneo, il quale agisca su di una molecola perpendicolarmente alla retta che congiunge la molecola urtata colle altre a cui si va a comunicarne il movimento. Sia A, B, C, D, E (fig. 48 *a*) una fila di punti materiali, e si supponga che un urto istantaneo normale ad AE spinga il punto A, portandolo in A′ (*b*). Essendosi così quella molecola allontanata dalla vicina B′, rimarrà turbato l'equilibrio tra le forze attrattiva e ripulsiva, e la prima rimanendo aumentata (69), tirerà la molecola B′ verso A′. Senonchè mentre quella comincia a spostarsi, allontanandosi dalla C, questa comincia a tirarlo verso di sè. La molecola B′ adunque contemporaneamente è tirata da due forze in direzione ed intensità espresse da B′A′, B′C′, la cui risultante (26) è la diagonale del parallelogrammo, di cui due lati sono quelle due componenti; la quale risultante in questo caso viene ad essere normale alla retta B′E′. Mentre la molecola, obbedendo alla detta risultante, si porta in basso, A′ va tornando alla primiera posizione, ed in un dato istante le molecole hanno la disposizione A″, B″, C″, D″, E″ (*c*).

Per la velocità acquisita il punto A non si ferma, ma tende a sollevarsi sopra alla retta A″E″ di tanto, di quanto l'urto l'aveva spinta al disotto: nel medesimo tempo B″ va tornando alla sua primitiva posizione, e la molecola C″ per l'abbassamento di B″ tenderà ad abbassarsi anch'essa; per il che in un dato istante la disposizione delle molecole sarà A‴, B‴, C‴, D‴, E‴ (*d*): nell'istante appresso sarà A⁗, B⁗, C⁗, D⁗, E⁗ (*e*) ecc.

Queste vibrazioni, che si effettuano normalmente alla retta, secondo la quale si propaga il moto, diconsi *trasversali*, e ben si vede che il loro modo di propagarsi è simile a quello delle longitudinali, colla differenza però che queste danno origine a condensazioni e dilatazioni successive, mentre in quelle le molecole vibranti provano solo degli spostamenti laterali alternativi, i quali succedono con tanta regolarità, quanta se ne ha nelle condensazioni e dilatazioni.

Supponiamo ora, che invece di avere pochi punti materiali collocati a notevole distanza, come si è testè immaginato, se ne abbiano moltissimi ed assai vicini: supponiamo cioè di empire gli spazii posti tra i punti materiali indicati nella presente figura con moltissimi altri.

Anche questi oscilleranno, e nell'istante del movimento espresso dalla (*e*) della fig. 48, essi avranno la disposizione indicata dalla fig. 49. Se si congiungano con una linea tutti i suddetti punti, si avrà la curva ondulata ABCDE simile a quella che ha servito ad esprimere le vibrazioni longitudinali (69). Ma mentre però la curva suddetta in quest'ultima solamente per convenzione esprime le condensazioni e dilatazioni; nelle vibrazioni trasversali ciascun punto di essa ci dà la posizione reale delle singole molecole oscillanti in un dato istante. Le parti convesse della linea sinuosa, con cui si esprimono le vibrazioni trasversali, si sogliono chiamare *monti*, e *valli* le parti concave. L'intervallo compreso tra due monti o tra due valli, ossia lo spazio, che racchiude un monte ed una valle, costituisce la lunghezza dell'onda. Non è poi necessario il dire che le molecole oscillanti, le quali distano per un numero pari di semionde, si trovano in egual fase, mentre sono in fasi diverse, se distano per un numero dispari di semionde. Se il moto vibratorio comincia con un monte, l'onda dicesi *positiva*, ed il moto si avanza, avendo sempre alla testa un monte: ma dicesi *negativa* l'onda quando il moto comincia con una valle, nel qual caso si propaga avendo a capo una valle. Tutte le leggi poi, che si sono date (70, 71) per la durata delle vibrazioni e per le relazioni che passano tra la detta durata, la lunghezza dell'onde e la velocità di trasmissione relativamente alle vibrazioni longitudinali, hanno egualmente luogo per le trasversali. Parimente le vibrazioni trasversali possono essere, come le longitudinali, lineari, superficiali e sferiche (72), e quanto in appresso dirassi per le trasversali, potrà pure alle longitudinali estendersi.

75. Produzione delle vibrazioni trasversali. — Gettando un sasso nell'acqua stagnante, si fa nascere nella sua superficie un sistema di onde trasversali, le quali possono pure aver luogo in un corpo solido, avendosene un esempio in una corda, che fissata in un estremo e tenuta in mano per l'altro, con questa venga agitata. Tali pur sono le vibrazioni dell'etere producenti i fenomeni calorifici (492) ed i luminosi (734).

76. Interferenze dell'onde. — Finora abbiamo supposto che le onde si propaghino in un mezzo omogeneo senza che esista alcuna causa, che le perturbi: può però avvenire 1° che due o più onde s'incontrino, ed allora si ha il fenomeno dell'*interferenze;* o 2° che un'onda batta in un corpo incapace a vibrare all'unisono colle molecole che la propagano; nel qual caso ha luogo la *riflessione* dell'onda; o 3° che l'onda passi da un mezzo ad un altro di diversa densità, ed avrassi la *rifrazione*. Di questi fenomeni intendiamo ora parlare, incominciando dalle interferenze. Se due sistemi di onde si vengono a confondere insieme, le molecole, in cui avviene l'incontro saranno contemporaneamente sollecitate da due moti, i quali dovranno dare un solo moto risultante: in ciò consiste il fenomeno delle interferenze. Sarà poi cosa ben facile a comprendersi, che ove s'incontrano due monti o due valli, ivi avrà luogo un monte od una valle di altezza eguale alla somma delle altezze delle componenti. Che se s'incontrino un monte ed una valle, avrà luogo o un monte od una valle secondo che è maggiore

l'altezza di quello o di questa, e l'altezza del monte o valle risultante dovrà essere eguale alla differenza delle altezze dell'onde componenti; cosicchè se la detta differenza è zero, nel punto della sovrapposizione le molecole debbono rimanere in perfetto equilibrio. Dopo ciò è manifesto, essere cosa facile, date le curve esprimenti le onde componenti, determinare la curva, che indichi l'onda risultante.

77. Riflessione dell'onde. — Quando un'onda batte in una parete resistente, si riflette, cioè torna indietro nel mezzo stesso, da cui viene. Sia un'onda sola quella che si avanza: questa sia espressa dalla curva *abcde* (fig. 50 *a*), e s'incontri nell'ostacolo *e* normale alla direzione dell'onda stessa. Se non vi fosse questo ostacolo, l'onda proseguirebbe in avanti il suo cammino, ed in un dato istante essendosi avvanzata per un quarto della sua lunghezza, la sommità *d* del monte si troverebbe nel punto, ove adesso esiste l'ostacolo, e per conseguenza la metà del monte troverebbesi al di là di questo punto. Ma la resistenza dell'ostacolo impedisce che l'onda si avanzi, e la rinvia indietro nella direzione di *ec*, e per ciò quando la sommità *d* del monte tocca l'ostacolo, avremo (*b*) la sovrapposizione di due mezze protuberanze, e conseguentemente (76) avanti all'ostacolo si formerà un mezzo monte di un'altezza doppia. Mentre la parte riflessa segue ad allontanarsi dall'ostacolo, la parte incidente seguita ad avvicinarsi al medesimo, in modo che quando si sarà riflesso tutto il monte *e'd'a'* (*c*), esso sarà sovrapposto alla valle incidente *a'b'e'*, e si avrà nelle molecole perfetto equilibrio. In appresso saranno già riflessi il monte e mezza valle; ed allora avanti all'ostacolo si avrà (*d*) una mezza valle di doppia profondità. Finalmente tutta l'onda sarà riflessa, e procederà in senso contrario (*e*): si avrebbero poi le istesse fasi, ma in senso inverso, se fosse una valle quella che per primo va ad urtare nell'ostacolo. Che se non fosse un'onda isolata, ma un sistema di onde, che venisse a riflettersi, si avrebbe il caso di due sistemi che s'incontrano, e se ne determinerebbero l'interferenze col metodo esposto nel numero precedente.

78. Direzione dell'onda riflessa. — Se l'ostacolo è obliquo alla direzione dell'onda incidente, l'onda riflessa non si sovrappone all'incidente, ma torna indietro in un'altra direzione che ora vogliamo studiare. Rappresenti AI (fig. 51) un'onda condensata, ed una molecola oscillante batta nel punto I dell'ostacolo CD con una velocità espressa in grandezza e direzione dalla retta IP. Si decomponga questa (28) nella IN perpendicolare e nella IT parallela all'ostacolo. Quest'ultima non rimane alterata nell'urto, ma la prima per l'elasticità del corpo oscillante si cambierà nella IN' eguale ad IN ma contraria in direzione. La molecola oscillante pertanto si troverà dopo l'urto animata dalle velocità IT, IN' e per ciò (26) dovrà prendere la direzione IP' diagonale del rettangolo N'T. Siccome le componenti dopo l'urto sono eguali a quelle che avevano luogo prima di questo, dovranno essere eguali i parallelogrammi N'T, NT, e conseguentemente l'angolo *r* sarà eguale all'angolo *s* e quindi anche all'angolo *i*. Risulta adunque che le direzioni dell'onda incidente e riflessa si trovano in un medesimo piano per-

pendicolare alla superficie riflettente, e fanno angoli eguali colla normale condotta al punto d'incidenza.

79. Leggi della riflessione. — Notando che l'angolo i formato dalla direzione dell'onda incidente colla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza dicesi *angolo d'incidenza*, ed *angolo di riflessione* l'angolo r formato dalla suddetta perpendicolare e dalla direzione dell'onda riflessa; le leggi della riflessione si possono esprimere così: 1° l'onda incidente, la normale guidata al punto d'incidenza, e l'onda riflessa si trovano in un medesimo piano: 2° l'angolo di riflessione è eguale a quello d'incidenza. Se adunque l'onda incidente è in direzione normale al piano riflettente, essendo zero l'angolo d'incidenza, deve essere pure zero quello di riflessione; cioè l'onda riflessa si confonde coll'incidente; e per ciò la legge ora esposta abbraccia ancora il primo caso da noi esaminato (77).

Le dette leggi si possono eziandio estendere al caso, in cui la superficie riflettente sia curva. Basta di condurre al punto F (fig. 52) un piano tangente e su questo abbassare la normale F. Si troverà che l'angolo d'incidenza AFL è eguale a quello di riflessione A'FL: si vedrà ancora che l'onda incidente AF la riflessa FA' e la normale LF giacciono in uno stesso piano.

Sarà pure facile cosa il determinare con queste leggi la riflessione di un'onda sferica (72); bastando allo scopo il determinare la riflessione delle onde lineari di cui quella si compone.

Per la dimostrazione ci sarà sufficiente esaminare una sezione piana di essa onda sferica. Sia pertanto O (fig. 53) il centro dell'onda sferica, ossia il punto da cui partono le onde lineari; ed MN sia il piano riflettente. Da O si abbassi la normale OA, la quale si prolunghi in O', sia AO'=AO. Un'onda lineare OA si rifletterà tornando su se stessa, ossia andando da A in O. Ma si consideri un'altra onda lineare OI. Se dal punto O' si guidi la retta O'I al punto d'incidenza, il prolungamento IR di questa linea traccerà la direzione dell'onda riflessa. Invero per l'eguaglianza dei triangoli rettangoli OIA, O'IA si avrà ang. $x=y=z$: condotta poi la normale KI, per l'eguaglianza degli angoli x, z si avrà ancora quella dei loro complementi i, r; e per ciò essendo i angolo d'incidenza, dovrà essere r quello di riflessione, vale a dire l'onda si dovrà riflettere secondo IR. Nel medesimo modo si prova essere I'R', I''R'' le direzioni secondo le quali si riflettono le onde OI', OI'' e da ciò si deduce, che quando un'onda sferica batte su di un piano riflettente, dà origine ad un'onda sferica riflessa, che per la sua direzione sembra il proseguimento di un'altra diretta, il cui centro sia al didietro della superficie riflettente, nel prolungamento della normale abbassata dal centro dell'onda incidente, e ad una distanza dal piano eguale a quella che passa dal suddetto centro dell'onda incidente al piano medesimo. Questo però si verifica solamente nel caso, che l'onda batta in un piano. Che se la superficie riflettente sia una curva sferica hanno luogo fenomeni che saranno esposti in ottica.

80. Vibrazioni stazionarie. — Abbiamo notato (69), che a motivo delle resistenze passive, le quali si oppongono al moto vibratorio delle molecole di un corpo, se la causa tendente a farle

oscillare non è continua, ma istantanea, il moto di esse molecole presto si estingue; onde consegue, che il moto vibratorio eccitato in una parte di un corpo cessa di esistere in quella parte, mentre prosegue a comunicarsi alle altre parti lontane. Ma se vi siano degli ostacoli da una parte e dall'altra, che riflettano le onde, queste onde riflesse rinforzeranno le dirette, e le vibrazioni così rinforzate dureranno per molto tempo. A meglio percepire tale fenomeno, suppongasi tirata tra i punti fissi A, X (fig. 54) una corda, nel mezzo della quale siasi esercitata una trasversale trazione, che l'obblighi ad oscillare. Prodottosi il monte A*b*X, questo moto vibratorio tende a propagarsi al di là di X, e a darvi origine ad una valle: ma la resistenza del punto fisso impedisce una tale propagazione, ed invece per la riflessione fa che la valle si formi tra A ed X, e così rinforza la AX, che direttamente pure va a formarsi. Questa valle tenderebbe a far nascere un monte al di la di A; ma tal punto fisso riflette la suddetta semionda, che verrà a rinforzare il monte A*b*X, il quale per la seconda volta sarebbe dalla corda direttamente prodotto. Seguitando in simile maniera le onde riflesse a ringagliardire le dirette, la corda prosegue a vibrare per molto tempo. Ma sia una serie di onde, che si avvanzi da B verso I (fig. 55). Battendo nell'ostacolo I le onde si riflettono e tornano in senso contrario verso B per riflettersi di nuovo verso I, e così di seguito. Le onde dirette e riflesse si troveranno nelle stesse fasi, e si rinforzeranno, onde le parti BC, CD... della corda seguiteranno ad oscillare per un tempo lungo, prendendo alternativamente la forma notata ora dalla linea continua, ora dalla punteggiata; e sarà come se la corda intera fosse divisa in un dato numero di corde più corte, ciascuna delle quali oscilli indipendentemente dall'altra, restando fermi i punti B, C, D, E... A tali vibrazioni che non vanno scorrendo per la corda dassi il nome di *vibrazioni stazionarie:* i punti B, C, D... diconsi *nodi*, ed i rigonfiamenti compresi fra i nodi si chiamano *ventri.*

Con grande facilità si fanno nascere in una corda le vibrazioni stazionarie, le cui onde siano di una data lunghezza. Se ad esempio nella corda BI si vogliano onde stazionarie lunghe un terzo dell'intera lunghezza della corda, basta di rendere con un dito, o con un'altro mezzo qualunque, fisso un punto F distante da I per la lunghezza della metà dell'onda, che si vuole far nascere. Fatta oscillare FI col tirarla lateralmente per il suo mezzo, l'onda così prodotta si va a propagare per tutta l'estensione della corda, dandovi origine alle vibrazioni stazionarie. Con metodi consimili si possono far nascere queste nelle lamine metalliche e nelle membrane: nel qual caso la superficie si divide in tante parti, ciascuna delle quali oscilla da sè, e che sono separate fra loro da *linee nodali*, che si mantengono in riposo. Si vedrà in acustica (250) che anche nell'aria racchiusa nei tubi possono aver luogo vibrazioni stazionarie.

81. Passaggio dell'onda da un mezzo ad un'altro più denso. — Parlando della riflessione, si è fino ad ora supposto, che l'ostacolo riflettente fosse perfettamente rigido, in modo da non far passare le onde ma da rifletterle totalmente, il che non avviene mai in pratica; e se molte volte è trascurabile quella parte

di moto vibratorio, che si trasmette a traverso del corpo riflettente, il più delle volte non lo è. In quest'ultimo caso l'onda che procede oltre nel secondo mezzo dicesi *trasmessa* o *rifratta*. Sia MN (fig. 56) una superficie, che separi due mezzi di densità diversa. L'onda incidente ABI trovisi nel mezzo meno denso, e vada a toccare la detta superficie colla sommità I del monte. Se non vi fosse questo passaggio ad un'altro mezzo, l'onda proseguirebbe il suo cammino secondo la linea IEF; ma a motivo del passaggio suddetto l'onda primitiva si divide in due, dando origine ad un'onda riflessa e ad un'altra trasmessa. La somma delle altezze di queste due onde eguaglia l'altezza dell'incidente, cosicchè se CL è l'altezza della trasmessa, IC sarà quella della riflessa. Più la differenza dei due mezzi è piccola, più è grande l'altezza dell'onda trasmessa, e quindi più piccola quella della riflessa. Quest'ultima andrà a sovrapporsi all'incidente, formando un monte di altezza $LD = IL + IC$ (76): la prima poi procederà avanti nel senso dell'incidente, ma con altezza LC. L'onda riflessa, movendosi nell'istesso mezzo, in cui si muove l'incidente, non si diversifica da questa se non che nella altezza: ma bèn diversa dall'incidente è l'onda trasmessa. Difatti essendo il secondo mezzo più denso del primo, offre maggiore resistenza al moto vibratorio delle molecole; pur non dimeno la durata di un'onda trasmessa deve essere eguale a quella di un'onda incidente, perchè le molecole del mezzo più denso, ricevendo gli urti da quelle del meno denso, debbono con queste vibrare all'unisono (70). Essendo poi eguali le durate, (71) il moto contemporaneamente si dovrà comunicare ad un egual numero di molecole tanto nel primo che nel secondo mezzo; ma siccome nel secondo mezzo le molecole stanno fra di loro più vicine di quello che stanno le molecole del primo, la lunghezza dell'onda trasmessa riesce minore di quella dell'incidente, perchè un egual numero di molecole occupa meno spazio nel mezzo più denso che nell'altro. La lunghezza dell'onda sappiamo esser data dalla formola $l = V \times T$ (71), e da questa dedurremo, che dovendo essere minore l per l'onda trasmessa, quantunque costante sia T, dovrà essere minore anche V, cioè l'onda trasmessa si deve propagare con minore velocità dell'incidente.

82. Passaggio dell'onda da un mezzo più denso ad un altro meno denso. — Col medesimo ragionamento possiamo determinare, che cosa avverrà, quando l'onda passi da un mezzo più denso ad un altro meno denso. Sia (fig. 57) AB una fila di molecole: quelle a sinistra di I facciano parte del mezzo più denso, e del meno denso quelle a destra. La molecola I farà in un certo modo parte di ambedue i mezzi, separando l'uno dall'altro. Una onda condensata percorra il sistema di molecole da A verso B. Arrivata in I, produrrà in questo punto una condensazione maggiore di quella prodotta nelle parti anteriori, perchè la molecola I, appartenendo anche al mezzo meno denso, incontra una resistenza minore nel comprimere le molecole successive. Quindi è che a partire da I si formerà un'onda condensata di altezza maggiore di tutte le precedenti, e tal semionda che si avvanza verso B sarà l'origine di un sistema di onde trasmesse. Ma se la semionda, che incomincia da I è più condensata delle precedenti, necessariamente a sinistra

di I avrà luogo una semionda diradata più delle precedenti, ossia espressa da una maggiore depressione. Tale aumento di profondità della semionda dilatata equivale alla formazione nel mezzo più denso di un'onda di dilatazione, ossia di un sistema di onde, che incomincia da una dilatazione, e che si propaga da I verso A: è questo sistema che forma l'onda riflessa. Nulla varia se invece di trattarsi di onde longitudinali, si parlasse di onde trasversali. Difatti se una di queste arriva alla superficie di separazione dei due mezzi, essa comunica alla molecola I una vibrazione trasversale, la cui ampiezza oltrepassa quella delle molecole precedenti, perchè le forze attrattive, che impediscono il moto molecolare, sono minori nel mezzo meno denso, che nell'altro. La semionda positiva prodotta alla destra della superficie di separazione, avendo un'ampiezza più grande, farà che un'ampiezza più grande abbia ancora la semionda negativa, la quale ha luogo alla sinistra della detta superficie, e che sarà l'origine dell'onda riflessa. Se l'onda incidente batte nella superficie di separazione in una fase di depressione, l'onda riflessa incomincerà con una elevazione: onde in generale diciamo che l'onda riflessa incomincia con una fase contraria a quella, con cui l'incidente batte sulla superficie di separazione. In quanto poi alla lunghezza dell'onda trasmessa, si prova che essa aumenta nel mezzo meno denso, e cresce ancora la velocità di propagazione del moto.

83. Carattere diverso dell'onda riflessa nei due precedenti casi. — Per ispiegare alcuni fenomeni delle interferenze luminose (863) è importantissima cosa il notare la differenza che passa nell'onda riflessa secondo che questa ritorna nel mezzo più denso o nel meno denso. Nel primo caso, come si è veduto nel numero precedente, l'onda riflessa incomincia sempre con fase contraria a quella, con cui l'incidente batte nella superficie di separazione; onde si può dire, quella essere la continuazione di questa. Ma non è così nell'altro caso, in cui l'onda riflessa incomincia colla fase stessa, colla quale l'incidente batte nell'ostacolo; cosicchè ad un monte dell'incidente succede subito un monte della riflessa senza esservi di mezzo una valle, la quale manca perchè possa considerarsi l'onda riflessa come una prosecuzione dell'incidente. Si suol dire pertanto, che quando l'onda si riflette entro al mezzo meno denso, la riflessione sopprime una semilunghezza di onda; si dice cioè, esservi una perdita di $\frac{1}{2}l$.

84. Rifrazione dell'onde. — Nei casi precedenti l'onda incidente si supponeva normale alla superficie che separa i due mezzi; e si è visto che l'onda trasmessa cambiava di velocità, ma non di direzione. Vediamo ora che cosa succeda, se l'onda incidente sia obliqua alla superficie suddetta. A tale scopo noi prenderemo di mira una sezione piana dell'onda sferica, anzi una parte della detta sezione lontanissima dal centro di scotimento; affinchè la superficie dell'onda compresa in una piccola estensione possa essere espressa piuttosto da una retta, che da un arco, e due onde lineari vicine possano considerarsi sensibilmente parallele. Ciò premesso, sia LIAL' (fig. 58) una parte della suddetta sezione piana limitata

dalle due onde lineari o raggi LI, L'A vicini fra loro ed obliqui alla superficie KK' che separa il mezzo superiore meno denso dall'inferiore più denso. Dal punto I si conduca la retta IP perpendicolare alla direzione dell'onda, ossia al raggio L'A. Questa normale rappresenterà la superficie dell'onda nel momento, in cui questa col punto I tocca la superficie KK'. Da ciò comprendiamo, che quando il movimento vibratorio è arrivato nel punto I per il raggio LI, per il raggio L'A è solamente giunto in P. Consideriamo ora l'istante, in cui il moto vibratorio relativo a questo secondo raggio giunge a toccare la superficie KK' in A. È chiaro che mentre il moto nel secondo raggio ha percorso lo spazio PA nel primo mezzo, il moto che si propaga secondo LI è passato nel secondo mezzo; e siccome la velocità di propagazione in questo è minore (81), lo spazio percorso dal moto ondulatorio proveniente da I sarà minore di PA, e tanto minore quanto più piccolo è il rapporto $\frac{V'}{V}$, esprimendo V' la velocità nel mezzo più denso e V quella che ha lungo nell'altro. Se adunque si faccia centro in I e con raggio eguale al detto rapporto $\frac{V'}{V}$ si descriva una semiperiferia; sarà manifesto, che mentre il moto vibratorio relativo ad LA giunge in A, quello relativo ad LI sarà giunto in un punto della suddetta semicirconferenza. Dovendo poi la superficie dell'onda essere rettilinea, dovrà essere espressa dalla tangente AT, ed il raggio IT condotto al punto di contatto sarà la direzione dell'onda trasmessa. Ben si vede, che non essendo PI parallelo ad AT, nemmeno IT lo sarà ad L'A. Dunque l'onda LI, entrando nel secondo mezzo si è *rifratta*, cioè ha deviato dalla primiera direzione. Condotta per il punto d'incidenza I la normale NM al piano rifrangente, si scorge che l'onda passando da un mezzo meno denso ad uno più denso, si avvicina alla detta normale. Con costruzione consimile si prova, che se l'onda passa da un mezzo più denso ad un altro che lo sia meno, rifrangendosi si allontana dalla perpendicolare.

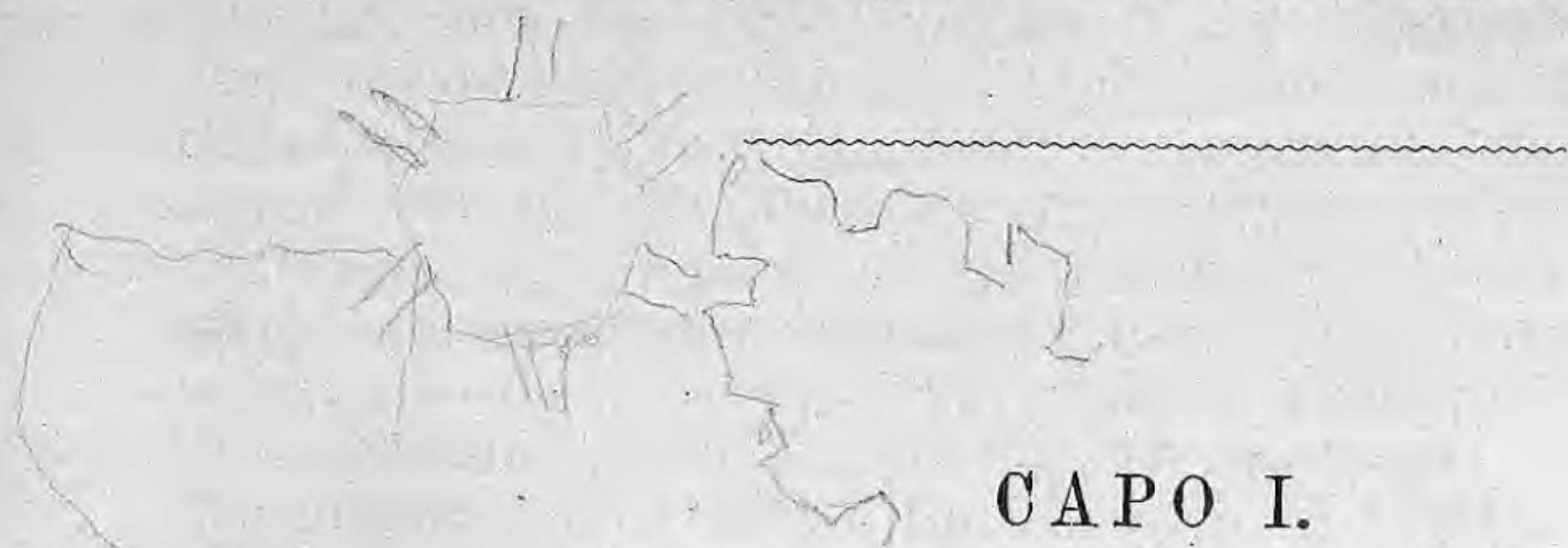
85. Leggi della rifrazione in un mezzo isotropo. — Dall'esposto chiara risulta la prima legge della rifrazione, la quale è che le direzioni dell'onde incidente e rifratta e la normale al piano rifrangente elevata dal punto d'incidenza si trovano in un medesimo piano. La seconda legge poi è, che passa un rapporto costante tra il seno dell'angolo d'incidenza i ed il seno dell'angolo di rifrazione r per due medesimi mezzi. Difatti per i due triangoli rettangoli PIA, AIT si avranno le due seguenti proporzioni

$$IA : PA = 1 : \text{Sen.}\, o;\quad IA : IT = 1 : \text{Sen.}\, m.$$

ossia $$IA : PA = 1 : \text{Sen.}\, i;\quad IA : IT = 1 : \text{Sen.}\, r$$

dalle quali si ricavano $PA = IA \times \text{Sen.}\, i$, $IT = IA \times \text{Sen.}\, r$. Avendosi poi $IT : PA = V' : V$, sostituendo avremo $V' : V = \text{Sen.}\, i : \text{Sen.}\, r$. Ma rimanendo i medesimi mezzi, il rapporto $V' : V$ non cambia; dunque non cambierà nemmeno l'altro.

Se il secondo mezzo, in cui passa l'onda è anisotropo, non essendo in questo l'onda di forma sferica, hanno luogo fenomeni, che saranno studiati in ottica (868).

IDROSTATICA ED IDRODINAMICA

CAPO I.

PRINCIPIO DI PASCAL E PRESSIONE DEI LIQUIDI SUI VASI

86. *Principio di Pascal* — 87. *Torchio idraulico* — 88. *Pressione di un liquido sul fondo del vaso* — 89. *Pressione dei liquidi dal basso in alto* — 90. *Paradosso idrostatico* — 91. *Pressioni laterali* — 92. *Modo di calcolarle* — 93. *Teoria dei vasi comunicanti* — 94. *Livella ad acqua* — 95. *Pozzi trivellati.*

86. Principio di Pascal. — Se in una parte di un solido si eserciti una pressione, questa viene solamente trasmessa alla parte opposta; ma non così avviene nei liquidi, le cui molecole sono si poco aderenti fra loro, da poter scivolare le une sulle altre (3), in modo che esse alla minima pressione tendono a scappar via da qualunque parte: ond'è, che fatta una pressione sopra di un liquido, ogni sua molecola tende a partire dalla massa, e veramente parte, se in qualche punto le si apre un varco. Ma se essa ciò non può fare, perchè da ogni parte è circondata da altre molecole, o dalle pareti del vaso, esercita su queste la medesima pressione, ch'essa stessa subisce. Quando adunque si eserciti una pressione su di una parte di un liquido, questa viene egualmente trasmessa in tutti i sensi, cosicchè se, ad esempio, in un centimetro quadrato della superficie del liquido si faccia una pressione equivalente ad un chilogramma; in ogni centimetro quadrato della superficie interna del vaso, in cui il liquido è contenuto, si sperimenta un'egual pressione: in una superficie di due centrimetri quadrati ha luogo una pressione di due chilogrammi ecc... Questa verità, che dal nome dello scopritore è detta *Principio di Pascal*, così si può sperimentare. Sia M (fig. 59) la sezione di un vaso pieno di un liquido, ed avente varii fori muniti di tubi A, B, C, D, E. Tali tubi, tutti di egual diametro, contengano stantuffi di egual base. Se si faccia su di uno di questi, ad esempio, su di A, una data pressione, poniamo di 10 chilogrammi, subito si vedranno gli altri tendere ad escire in fuori: che se si vorrà tenerli in posto, bisognerà fare sopra ciascuno di essi dal difuori al didentro una pressione eguale alla prima, cioè di 10 chilogrammi. Ma se uno dei detti stantuffi avesse una base doppia, tripla... di quella del primo, per tenerlo

nel posto sarebbe necessaria una pressione doppia, tripla... Che se questo non si vede rigorosamente verificato in pratica, deve ciò attribuirsi al peso del liquido, da cui per ora facciamo astrazione.

87. Torchio idraulico. — Si abbiano (fig. 60) due cilindri cavi di differente diametro comunicanti fra di loro nelle parte inferiore mediante un tubo. Si empiano di acqua, e sulla superficie di questa in ambedue i vasi si ponga uno stantuffo di diametro egualissimo a quella del relativo recipiente. Se, ad esempio, la superficie di A è 100 volte minore di quella dell'embolo B; una pressione fatta in A sarà trasmessa contro B, il quale verrà spinto in alto con forza 100 volte più grande. Osservare però si deve, che se A si abbassi di un decimetro, B si solleva di un solo millimetro; onde anche qui si verifica, che quanto si guadagna in forza, tanto si perde in velocità (29).

Su questo principio è basato il *torchio idraulico*, il quale, come comunemente si suole costruire, consiste in un gran corpo di tromba, entro cui si può introdurre un cilindro metallico massiccio di diametro egualissimo a quello del corpo di tromba, cosicchè tutto lo empia. Esso cilindro cavo nella sua parte inferiore comunica con una tromba aspirante-premente (96) di piccolo diametro, il cui stantuffo è messo in movimento da una leva. Quando l'embolo si eleva assorbe acqua da un sottoposto recipiente; e quando si abbassa la spinge sotto il cilindro massiccio, che per conseguenza viene con gran forza a sollevarsi. Malgrado l'abilità dei costruttori non si era potuto giungere a far stare a perfetto contatto la superficie del cilindro massiccio colla superficie interna del corpo di tromba, in modo che l'acqua non avesse a trapelare tra l'una e l'altra. Bramah ingegnere inglese tolse questo grave difetto. Nella parte superiore del cilindro cavo fece internamente costruire un'incavatura circolare, in cui pose un'anello fatto con una lista di cuoio piegata a tegola colla concavità rivolta in basso. Mentre un lembo di quest'anello poggia contro la superficie interna del corpo di tromba, l'altro lembo preme contro quella del cilindro massiccio: l'acqua che trovasi tra i due cilindri, pigiata verso l'alto fa pressione entro alla parte cava della lista di cuoio, e tende ad appianarla, rendendo così impossibile l'escita dell'acqua. Quando la pressa idraulica deve servire per esercitare una grande pressione, si pone sopra la testa del cilindro massiccio una piattaforma orizzontale, ed un'altra è tenuta ben fissa al disopra della prima da quattro robuste colonne: l'oggetto da comprimersi si pone nello spazio interposto alle due piatteforme (*).

(*) Il torchio idraulico è adoprato a molti usi: serve nell'industria a comprimere i panni, la carta, ed a ridurre a piccolo volume le balle di cotone, di fieno ecc., perchè occupino piccolo spazio nelle navi. Si adopera a spremere l'olio dai semi, e a separare l'acido stearico dall'oleico per la fabbricazione delle candele. Con esso si sperimenta la resistenza delle funi e delle catene alle fortissime trazioni, a cui si debbono assoggettare. Si fa uso del torchio idraulico per tenere sollevate enormi masse: basta a tal proposito dire, che nella restaurazione della cattedrale di Strasburgo, quattro potenti torchii idraulici sostennero sollevata in aria l'aguglia del tempio fino a tanto che si compirono al disotto di essa importanti lavori.

88. Pressione di un liquido sul fondo del vaso. — I liquidi sono pesanti: quindi è che gli strati inferiori sono dai superiori premuti, e questa pressione viene trasmessa secondo il principio di Pascal in tutte le direzioni. Noi parleremo 1° della pressione che un liquido fa dall'alto in basso sul fondo del vaso in cui è contenuto; 2° della pressione esercitata da esso liquido dal basso in alto; 3° della pressione che ha luogo nelle pareti laterali del recipiente. In quanto alla pressione, che il liquido esercita sul fondo del vaso diciamo, che questa è indipendente dalla forma del vaso, essendo sempre eguale al peso di una colonna liquida avente per base il fondo di esso vaso e per altezza la distanza del fondo dalla superficie di livello. Questa importante verità si può sperimentare con due apparati, il primo dei quali è dovuto a Pascal, ed è formato da un anello D (fig. 61) sostenuto da tre piedi, e sul quale si possono avvitare ad arbitrio uno dei tre recipienti V, V′ V″ senza fondo, di diversa forma, aventi l'apertura inferiore di egual diametro. Alla sinistra vedesi un'asta verticale *t*, lungo la quale può scorrere a sfregamento dolce un indicatore *i*. L'apertura inferiore d'ogni vaso può venir chiusa mediante un disco detto *otturatore* sostenuto per il suo centro da un filo, la cui estremità superiore è annessa all'estremo di un braccio di una bilancia. Alcuni pesi collocati sul piatto che pende dall'altro braccio fanno sì, che il disco si applichi con una certa forza contro l'orifizio inferiore del vaso. Versando acqua nel tubo V annesso all'anello, si giunge ad un punto, in cui l'otturatore spinto dalla pressione, che su di esso esercita il liquido, si abbassa un poco per fare effluire una quantità di acqua; dopo di che si richiude tosto l'apertura. Siamo allora certi, che i pesi posti nel bacino della bilancia fanno equilibrio alla pressione del liquido contro l'otturatore. Si pone l'indice *i* in modo che marchi l'altezza di livello dell'acqua; misurata la quale altezza, con facilissimo calcolo verremo a conoscere, che la detta pressione, ossia il peso noto posto nella bilancia, è precisamente eguale al peso di una colonna di acqua, che abbia per base la superficie premuta e per altezza la distanza di questa dalla superficie di livello. Tolto il vaso V, e sostituito ad esso uno qualunque degli altri due, si vede, che conservando nella bilancia il medesimo peso, l'equilibrio tra questo e la pressione del liquido si stabilisce sol quando il livello della superficie del liquido è ricondotto in *i*; il che prova nel modo più evidente, che la pressione dei liquidi sul fondo dei vasi è indipendente dalla forma di questi.

Il secondo apparato devesi a De-Haldat di Nancy. Questo consiste in un tubo metallico *abc* (fig. 62) ricurvo verticalmente alle estremità *a*, *c*, e munito in *c*, di un'appendice cilindrica di vetro ed in *a* di una guarnitura di ottone, sulla quale si possono avvitare tubi di forma diversa, come *n*, *s*, *p*, *m*.... Il sostegno, a cui è fissato l'apparecchio porta in R una punta metallica, che si può innalzare ed abbassare a volontà e che serve ad indicare il livello del liquido posto nell'interno del sottoposto vaso. Si empie il tubo *abc* di mercurio, il quale, in virtù di un principio che spiegheremo in appresso (93), si dispone all'istesso livello nei due rami verticali. Sia *c* il livello del ramo destro. Se dopo di avere avvitato in *a* il tubo *n* versiamo in questo dell'acqua, la superficie del mercurio nel ramo

sinistro servirà di fondo mobile del vaso *n* e riceverà la pressione esercitata dalla massa di acqua. Infatti a misura che il vaso *n* si va empiendo di acqua, il livello del mercurio si va inalzando nel ramo *c*. Giunta la superficie libera dell'acqua a toccare la punta R, si nota il livello *c'* del mercurio. Tolta l'acqua si sostituiscono successivamente ad *n* gli altri vasi, e si vedrà, che il mercurio risale costantemente al medesimo livello tutte le volte che la punta tocchi la superficie dell'acqua.

Vediamo di rendere ragione dell'esposto fenomeno. A, B, C, (fig. 63) siano tre vasi di fondo eguale, ma di forma diversa. Essendo il vaso A cilindrico è evidente che il liquido da esso contenuto gravita tutto nel fondo, il quale per conseguenza subisce una pressione eguale al peso di una colonna liquida avente per base il detto fondo e per altezza la distanza da questo dalla superficie di livello. Come è che la stessa pressione ha luogo nel vaso B, in cui si contiene una maggiore quantità di liquido? Se noi immaginiamo inalzare da tutti i punti della circonferenza del fondo le verticali *ms*, *nt*..., avremo, per così dire, con queste separato dal resto della massa liquida un cilindro, che ha per base il fondo, e che è quello, che realmente gravita nel fondo stesso. L'altro liquido che sta intorno poggia e gravita piuttosto nelle pareti laterali. Che se le masse *p*, *q* esercitano pressione sulla massa centrale B, tale pressione rimane elisa dalla pressione laterale contraria, che su di esse masse *p*, *q* esercita B, come dirassi in seguito (91). Nel terzo vaso C il liquido contenuto e in minor quantità, eppure fa la medesima pressione nel fondo; imperochè la parte *pq* di questo è premuta da tutta la colonna liquida *pgrq*; la molecola *y* gravata dalla colonna *ry* trasmette questa pressione in tutte le direzioni (86) e quindi anche alle molecole latereli *d*, che alla lor volta la trasmettono alla parte del fondo ad esse sottoposto: ond' è che la parte *z* del fondo soffre una pressione eguale al peso di una colonna liquida, la cui altezza è *ze*. Dicendo lo stesso delle altre parti dle fondo, si conchiude che, che questo è premuto egualmente da per tutto, come se la colonna liquida premente fosse *lovm*.

89. Pressione dei liquidi dal basso in alto. — Per il principio dell'uniformità di pressione dei liquidi in tutte le direzioni (86) si deve avere, che un liquido faccia pressione anche dal basso in alto eguale a quella che fa dall'alto in basso. Ciò si dimostra coll'immergere un tubo di vetro aperto nell'estremo superiore e chiuso nell'altro con un otturatore sostenuto da una funicella in un vaso contenente acqua. Ci accorgeremo, che se l'otturatore non fa penetrare l'acqua nel tubo, non è più necessario sostenere il disco mediante la funicella; giacchè avvi una forza la quale lo spinge contro il tubo. Versando poi acqua nell'interno di quest'ultimo, il fondo mobile non cade, se non quando il liquido giunge allo stesso livello dentro e fuori del tubo; onde dovrà dirsi, che allora le due facce dell'otturatore sono egualmente premute, l'esterna dal basso in alto, l'interna dall'alto in basso. Ma sappiamo, quest'ultima pressione essere eguale al peso di un cilindro liquido avente per base la faccia stessa e per altezza la distanza di questa dalla superficie di livello; dunque anche la faccia esterna subisce una pressione espressa nell'istesso modo.

90. Paradosso idrostatico. — Abbiamo detto (88), che un vaso, il quale vada stringendosi verso l'alto, subisce nel suo fondo una pressione maggiore del peso di tutto il liquido contenuto, in modo che un corpo immerso nel liquido e disteso nel fondo, cosicchè tutto lo copra, è più premuto di quello che lo sarebbe, se esso corpo fosse al di fuori del liquido, e sopra gli gravasse l'intero recipiente. Ciò suole chiamarsi *paradosso idrostatico*, del quale siamo ora in grado di dare ragione. Rappresenti A B C D E F G H (fig. 64) la sezione verticale di un recipiente pieno di acqua fino ad H A. Un corpo che copra il fondo nell'interno deve subire la pressione che soffre il fondo, ossia il peso di una colonna di acqua eguale in volume ad E K I D; ne in alcun modo gli giovano le pressioni dal basso in alto subite dalle parti orizzontali F G, B C, le quali pressioni sono eguali (89) al peso di colonne liquide, i cui volumi siano F K H G, B A I C, perchè la prima pressione è indipendente da queste. Ma ben diversa è la cosa, se il corpo è sottoposto al recipiente, perchè in questo caso tutte le pressioni formano un solo sistema, ed il corpo è premuto dalla risultante di esse pressioni, che è eguale a quella che ha luogo dall'alto in basso, meno quelle che si esercitano dal basso in alto, ossia è eguale al peso della colonna liquida E D I H meno i pesi delle colonne F G H K, B C I A, cioè è equivalente al peso del liquido contenuto nel vaso.

91. Pressioni laterali. — L'esistenza delle pressioni laterali viene messa in evidenza coi seguenti apparati. Sopra un piano di sughero, che galleggia nell'acqua, si pone un vaso pieno del medesimo liquido e munito in basso di un piccolo tubo orizzontale con chiavetta. Finchè questa è chiusa, le pressioni sulle facce laterali opposte si fanno equilibrio, e l'apparato, il quale appellasi *galleggiante a reazione*, sta fermo. Ma se girando la chiavetta si fa effluire il liquido, il galleggiante si pone in moto in senso opposto all'efflusso; perchè dove esce il liquido la pressione non esiste più, mentre questa continua nella parte diametralmente opposta; la quale ultima pressione, non rimanendo più elisa, mette in moto il vaso. Simile spiegazione dassi al fenomeno offerto dal *pendolo a reazione*, che consiste in una sfera cava munita di tubo laterale con chiavetta e sospesa ad una funicella. Essendo la sfera piena di acqua, e venendo impedito lo sgorgo, l'apparecchio rimane immobile nella posizione verticale. Che se si dà luogo all'efflusso, il pendolo si allontana dalla verticale, portandosi verso la parte opposta all'efflusso. È pure identica la causa che mette in moto l'*arganetto idraulico*. Un vaso di vetro V (fig. 65) può girare intorno ad un asse verticale, che ha i suoi estremi impernati uno nel montante P, e l'altro nel fondo di un recipiente C. Esso vaso mobile porta nel suo estremo inferiore dei tubi orizzontali *c* tutti piegati ad angolo retto in un medesimo senso. Allorchè il liquido sgorga per i detti tubi, il vaso V rota in direzione opposta all'efflusso; perchè nella parte del tubo che sta di fronte all'orifizio si effettua una pressione laterale, la quale non rimane equilibrata da un'altra pressione contraria.

92. Modo di valutare le pressioni laterali. — Si noti, che le pressioni esercitate da un liquido sulle pareti del vaso si deb-

bono sempre considerare normali alle medesime. Invero se avesse luogo una pressione obliqua, questa si potrebbe supporre decomposta in due (28), una parallela e l'altra perpendicolare alla parete, la quale ultima componente sola si eserciterebbe sulla detta superficie. Dopo ciò accingiamoci a determinare la pressione che ha luogo sulla parete, il cui profilo è indicato da AB (fig. 66). S'immagini divisa questa in tante piccolissime parti *Bm*, *mn*, *np*...; non avremo difficoltà di ammettere, che ciascuna di queste parti è premuta dal peso di una colonna liquida avente per base essa parte e per altezza la sua distanza dalla superficie di livello. Se si voglia la somma di queste pressioni parziali, ossia la pressione effettuata in tutta la parete, si comprende, che invece di moltiplicare ciascuna parte per la sua distanza di livello, sarebbe lo stesso moltiplicare la somma delle superficie delle singole parti premute per una distanza media dalla superficie di livello. Ora la somma delle parziali superficie è la parete intera premuta; ed il calcolo addimostra, che la suddetta media distanza è equivalente a quella che passa tra il centro di gravità della parete (47) e la superficie di livello: dunque risulta che la pressione totale sopportata da una parete laterale di un vaso è eguale al peso di una colonna liquida, che abbia per base la parete medesima e per altezza la distanza del centro di gravità di questa dalla superficie libera del liquido.

Le parziali pressioni subìte dalle singole parti d'una parete laterale e collocate a varie profondità si possono esprimere con tante rette normali alla parete, e per ciò si possono considerare come tante forze parallele, la cui risultante è la pressione totale (*). Il punto di applicazione di detta risultante, il qual punto dicesi *centro di pressione*, non coincide col centro di gravità, perchè le componenti non sono eguali fra loro, ma sono tanto più grandi, quanto più basso trovasi il loro punto di applicazione; ond'è che (27) il detto centro di pressione trovare si deve più basso del centro di gravità. Appartiene alla matematica il determinare tale centro, e noi ci limitiamo a dire, che in una parete verticale rettangolare il punto d'applicazione della pressione trovasi, partendo dal fondo, al terzo della linea, che congiunge i punti di mezzo dei due lati orizzontali.

Se si dovesse misurare la pressione, che si sarebbe esercitata su di un'apertura irregolare fatta sulla parete laterale di una conserva d'acqua, si potrebbe operare così: Si disegna su di un cartone sottile e tutto di eguale ertezza una figura perfettamente

(*) La grande pressione, che un liquido può fare sulle pareti del recipiente fu resa manifesta da Pascal col seguente esperimento. Fissò nel centro forato del fondo superiore di una botte un tubo di latta di piccolo diametro e lungo 10 metri. Essendo la botte piena di acqua, versò lo stesso liquido nel tubo. La botte quantunqne solidamente cerchiata, si sfasciò cedendo all'enorme pressione, che poteva computarsi superiore a 10 tonnellate per ogni metro quadrato di superficie. Se nel seno di una montagna vi sia una caverna piena di acqua, e che comunichi per mezzo di una sottile screpolatura colla vetta del monte; una leggiera pioggia, che empia di acqua il detto lungo pertugio, può così aumentare la pressione subìta dalle pareti della caverna da produrne lo squarcio.

eguale all'apertura, e quindi si taglia intorno intorno. Sospendendo successivamente questa figura in due punti diversi ad un filo, se ne determina il centro di gravità (48). Si applica quindi il pezzo di cartone sull'apertura, e si misura la distanza di detto centro dalla superficie di livello. Per aver poi la misura della superficie dell'apertura, si pesa esattamente un decimetro quadrato del cartone, con cui è stato fatto l'intaglio, e si pesa la figura. Quante volte questo secondo peso contiene il primo, tanti sono i decimetri quadrati che formano la superficie del foro. Si hanno così tutti gli elementi necessarii per calcolare la cercata pressione.

93. Teoria dei vasi comunicanti. — Quando un liquido omogeneo è contenuto in più vasi comunicanti fra loro, la superficie libera del liquido in ciascuno di essi trovasi al medesimo livello, qualunque sia la forma di ciascun vaso. Difatti si ponga un liquido nei due vasi comunicanti A, B (fig. 67) e suppongasi stabilito l'equilibrio: presa di mira una falda liquida mn, si chiamino l, l' le distanze del centro di gravità di detta lamina dalle superficie di livello del liquido nei vasi A, B. Lo strato mn è premuto verso destra dal liquido contenuto in A, e verso sinistra da quello che trovasi in B: le quali pressioni, se s'indichi con g il peso di una unità di volume del liquido (100), saranno espresse da $mn \times l \times g$ la prima, e da $mn \times l' \times g$ la seconda. Ma perchè si abbia equilibrio le due pressioni debbono essere eguali: dunque avremo $mn \times l \times g = mn \times l' \times g$, e quindi $l = l'$.

Questo principio si può sperimentalmente dimostrare, col far comunicare fra di loro più vasi di cristallo di diversissima grandezza e forma, uno dei quali sia alquanto ampio. Versando un liquido in quest'ultimo, si vedrà la superficie di livello disporsi in tutti i vasi alla medesima altezza.

Che se in due tubi comunicanti si versano due liquidi, che non si mescolano fra loro, e che sono di diversa densità, le superficie di livello, allorchè è stabilito l'equilibrio, stanno ad altezze tali nei due vasi, che sono fra di loro nella ragione inversa delle densità dei liquidi. Invero nel vaso A si versi un liquido, il peso di una unità del quale sia g, e nel vaso B si ponga un altro liquido, che per ogni unità di volume pesi g': indicando come prima con l, l' l'altezze di livello, le pressioni sofferte da mn saranno $mn \times l \times g$, $mn \times l' \times g'$; onde per l'equilibrio si dovrà avere $mn \times l \times g = mn \times l' \times g'$; dalla quale si ricava la proporzione $l : l' = g' : g$. Questa seconda legge si dimostra colla seguente esperienza. Si abbiano due tubi a, b (fig. 68) comunicanti fra di loro per mezzo d'un tubo di diametro minore, ed annessi ad una tavoletta, nella quale sono scritte a lato di essi tubi due graduazioni in millimetri. Versando mercurio nell'apparecchio, questo liquido si disporrà allo stesso livello in ambedue i tubi. Aggiungendo poi dell'acqua nel ramo a, il mercurio si abbasserà in questo tubo, inalzandosi nell'altro: e misurando le altezze del mercurio e dell'acqua al disopra della superficie di contatto dei due liquidi, troveremo che l'altezza del mercurio è 13 volte e mezzo minore di quella dell'acqua, la quale ha una densità tredici volte e mezza minore di quella del mercurio.

94. Livella ad acqua. — Sulla teoria dei vasi comunicanti è

basata la *livella ad acqua* che consiste in un tubo metallico (fig. 69) fissato orizontalmente sopra un sostegno a tre piedi. Alle due estremità il tubo si curva in alto e termina in due tubi di vetro. Quando si vuole far uso dell'apparecchio, si versa acqua in uno dei tubi, sinchè non si veda salire il liquido anche nell'altro. È chiaro che i due livelli dell'acqua debbonsi trovare in una medesima linea ozizontale. Questo istrumento serve per conoscere di quanto un punto B del terreno è più elevato di un altro punto A. Si fissa la livella a circa la metà della distanza dai due suddetti punti, nei quali si piantano due pali graduati, di cui ciascuno porta una mira scorrevole. L'osservatore da C traguarda le due superficie di livello, e fa inalzare od abbassare la biffa in A, affinchè il suo centro coincida colla visuale. Fa il medesimo relativamente alla biffa piantata in B, traguardando da O. La differenza di altezza si ha sottraendo dall'altezza della biffa piantata in A quella della biffa collocata in B. La matematica insegna a correggere l'errore proveniente da che la visuale condotta per le due superficie di livello è retta, mentre la superficie della terra è curva.

95. Pozzi trivellati. — Questi pozzi si sogliono comunemente chiamare *pozzi artesiani*, ma impropriamente, giacchè prima che in Francia si scavassero nella provincia di Artois, erano già effettuati in Modena. La corteccia terrestre vicino alla superficie del globo è composta di varii strati sovrapposti di natura diversa, ma di regolare e costante spessore. Quindi gli strati medesimi sono fra loro separati da superficie sensibilmente parallele. Si ammette che in origine tali superficie fossero orizzontali; ma che sorti i monti per l'interne azioni vulcaniche, nei dossi di questi esse superficie siano addivenute oblique in modo che i varii strati quasi verticali nelle cime dei monti stanno allo scoperto. Fra questi alcuni, come quelli di sabbia e di ghiaia, sono permeabili all'acqua; altri sono impermeabili, come quelli di argilla. Sia uno strato permeabile collocato fra due impermeabili, e nella vetta di un monte stia allo scoperto. L'acqua delle piogge e delle nevi scorrerà per esso strato senza poterne escire, perchè l'impermeabilità degli altri due non permette che l'acqua penetri nè al disopra, nè al disotto. Se nella valle si scavi un pozzo, perforando tutto lo strato superiore impermeabile, l'acqua dovrà salire con forza entro quel pozzo ed anche zampillare, giacchè tende a prendere lo stesso livello della sorgente.

CAPO II.

PRINCIPIO D'ARCHIMEDE E PESO SPECIFICO DEI CORPI

96. *Principio d'Archimede* — 97. *Condizioni d'equilibrio di un corpo immerso in un liquido* — 98. *Corpi galleggianti e loro legge d'equilibrio* — 99. *Applicazione dei precedenti principii* — 100. *Peso specifico dei corpi* — 101. *De-*

96. Principio d'Archimede. — Un corpo immerso in un liquido perde tanto di peso, quanto è il peso di un egual volume di liquido, ossia quanto è il peso del liquido spostato dal corpo immerso. Ciò chiamasi *principio d'Archimede*, ed in più modi si dimostra. In primo luogo s'immagini di avere un recipiente pieno d'un liquido qualunque, e si supponga di separare mentalmente una massa di liquido dall'altro che la circonda. Questa massa è premuta da ogni parte dal liquido circostante; ed è certo che le pressioni laterali si elidono, poichè in caso contrario la massa suddetta non istarebbe in equilibrio, ma si muoverebbe nella direzione della risultante di esse pressioni laterali. Non si può dire lo stesso delle due pressioni verticali, che se fossero eguali, non farebbero stare la massa in equilibrio, mentre questa cadrebbe in basso a motivo del proprio peso. Se adunque la massa non cade, dovrà dirsi, che la pressione, la quale si esercita su di essa dal basso in alto, supera l'altra che si effettua dall'alto in basso, in modo da distruggere il peso di essa massa liquida. Se ora si supponga di togliere questa e porre in sua vece un corpo qualunque d'egual volume, non verrà con ciò variata affatto la pressione esercitata dal liquido circostante. Quindi è che il corpo immerso nel liquido sosterrà una spinta dal basso in alto equivalente al peso del liquido spostato, e perciò di tanto si troverà diminuito il suo peso. Consimile è la dimostrazione seguente. Sia (fig. 70) immerso nel liquido contenuto nel recipiente V un cilindro, il quale sosterrà da ogni parte pressioni indicate dalle frecce. Le pressioni laterali si debbono elidere per la ragione detta di sopra, e quella effettuata nella base superiore è eguale al peso di un cilindro liquido avente per base quella superficie e per altezza la distanza di essa dal livello del liquido (88); la quale pressione è rappresentata a destra della figura col cilindro *abcd*. La pressione poi sulla base inferiore è eguale al peso d'un cilindro liquido, che ha per base la detta superficie e per altezza la sua distanza dal livello *mn* (89); il qual cilindro è rappresentato da *a'b'ef*. È evidente, che la pressione subìta dal basso in alto dalla base inferiore supera quella sostenuta dall'alto in baso dalla base superiore di tutto il peso del cilindro liquido *c'd'ef* esattamente uguale al volume del corpo immerso. Il principio d'Archimede si può in terzo luogo dimostrare sperimentalmente colla *bilancia idrostatica*, che diversifica dalla comune in quanto che ciascun piatto ha sotto di se un'uncino, a cui può attaccarsi un corpo; oltre di che il fusto può abbassarsi mediante una ruota dentata in modo da far pescare i corpi attaccati agli uncini nel liquido, di cui sono pieni i recipienti collocati al disotto dei piatti. All'uncino di uno di questi (fig. 71) si sospendano uno sotto all'altro due cilindri metallici A, B, l'inferiore massiccio, il superiore cavo ed avente una capacità interna esattamente eguale

al volume dell'altro. Sul secondo piatto si pongano dei pesi, onde stabilire l'equilibrio; ottenuto il quale, sotto al cilindro B si pone il vaso V contenente acqua, e quindi si abbassa il fusto della bilancia, facendo girare la ruota dentata, in modo che il cilindro B tutto s'immerga nell'acqua. Allora si vede, che l'equilibrio è turbato, mentre la bilancia trabocca dalla parte dei pesi; il che fa conoscere che il cilindro immerso ha subìta una perdita di peso. E poichè si ristabilisce l'equilibrio, quando si empia di acqua il cilindro A, si dovrà conchiudere che il suddetto decremento di peso è eguale al peso dell'acqua spostata.

È bene poi di fare la seguente osservazione. Se il corpo immerso nel liquido perde di peso, di altrettanto si aumenta quello del liquido. Difatti invece di sospendere i due cilindri sotto al piatto della bilancia, si faccia portare il massiccio da un sostegno fisso C (fig. 72) e si equilibri con pesi nella bilancia il vaso, entro al quale si fa l'immersione. Quando il cilindro B s'immerge nell'acqua, il peso del recipiente aumenta, e per ristabilire l'equilibrio si deve togliere dal vaso una quantità d'acqua sufficiente ad empire perfettamente il cilindro cavo A. L'acqua adunque acquista il peso perduto dal corpo immerso; ond'è che se si pesino sul medesimo bacino di una bilancia contemporaneamente un vaso contenente acqua ed un corpo posto accanto ad essa, l'equilibrio non rimane turbato, se di poi il corpo si pone dentro all'acqua.

97. Condizioni d'equilibrio di un corpo immerso in un liquido. — Discende dal detto, che quando un corpo è immerso in un liqnido, è sottoposto a due forze l'una dovuta al peso del corpo, che agisce dall'alto in basso, e l'altra dovuta alla spinta del liquido, che agisce verso l'alto. Possono quindi aver luogo tre casi: 1° La spinta eguaglia il peso del corpo, ed allora questo rimane totalmente immerso ed immobile in seno della massa liquida. 2° La spinta è minore del peso del corpo, nel qual caso questo discende. 3° La spinta è maggiore del peso del corpo, il quale per ciò sale in alto. È per questo che un uovo sta immobile nell' acqua salata, nella quale posta una palla metallica cade in basso, mentre un pezzo di sughero vi galleggia. Come il peso del corpo immerso deve considerarsi applicato nel suo centro di gravità (47), così la spinta deve immaginarsi riconcentrata nel punto, ove sarebbe il centro di gravità del liquido rimosso. Dopo ciò riescono chiare le condizioni necessarie, perchè un corpo immerso in un liquido rimanga in equilibrio; le quali sono: 1° il peso del corpo immerso deve essere eguale a quello del liquido spostato; 2° i centri di gravità del corpo e del liquido rimosso debbono coincidere, od almeno trovarsi sulla medesima verticale, affinchè possano a vicenda elidersi; 3° in quest'ultimo caso, perchè l'equilibrio sia stabile (50) è necessario che il centro di gravità del corpo sia al disotto dell'altro centro.

I pesci sono in equilibrio nell'acqua, e possono rimanervi immobili, perchè il loro peso è eguale a quello del liquido scacciato. Ma se si aumenta il volume di un pesce, senza che cresca la massa, l'animale è spinto in alto, e viceversa cade in basso, quando il suo volume viene a diminuire, ma non la massa. Ora molti pesci

possono aumentare o diminuire il loro volume, mediante un organo speciale detto *vescica natatoria*, che ha varie forme, secondo le varie specie, e che in generale consiste in un sacco membranoso contenente un gas, il quale il pesce può a suo piacimento espandere o comprimere.

98. Corpi galleggianti. — Loro condizioni d'equilibrio. — Quando un corpo immerso in un liquido pesa meno del liquido rimosso, come abbiamo detto, è spinto in alto, e giunto alla superficie di livello, comincia ad emergere. Finchè prosegue l'emersione, siccome decresce la quantità del liquido spostato, scema poco a poco l'intensità della spinta la quale infine eguaglia il peso del galleggiante. Allora cessa l'ascesa di questo, equilibrandosi le due forze contrarie. Adunque la prima condizione per l'equilibrio dei galleggianti è, che il peso totale del corpo sia eguale a quello del liquido rimosso dalla parte immersa. Questa legge si può verificare sperimentalmente col seguente apparato. Si abbia un vaso di vetro munito d'una tubulatura laterale, che metta in comunicazione la parte inferiore di esso con la parte inferiore di uno stretto tubo verticale, la cui estremità collocata in basso può aprirsi mediante una chiavetta. Un anello scorrevole serve ad indicare la superficie di livello del liquido nel detto tubo. Si comincia col versare acqua nel vaso finchè la superficie di essa non giunga al menzionato anello: e quindi si pone entro al vaso una sfera cava di metallo di peso noto, la quale galleggia, e colla sua presenza determina l'innalzamento di livello nel vaso e nel tubo. Girando allora la chiavetta, si lascia effluire dall'apparato tant'acqua, quanta è necessaria perchè il livello torni al posto di prima. Pesando il liquido effluito, si trova il suo peso eguale a quello del galleggiante. La seconda condizione di equilibrio pei galleggianti è quella stessa data pei corpi immersi; cioè i centri di gravità del liquido spostato e del galleggiante debbonsi trovare nella medesima verticale. Perchè poi l'equilibrio sia stabile, non è necessario, che il centro della spinta stia al disopra del centro di gravità del corpo, come richiedevasi nel caso precedente; ma invece fa d'uopo, che il centro di gravità del galleggiante stia sotto ad un altro punto detto *Metacentro*. Sia A (fig. 73) un corpo galleggiante nell'acqua, e G sia il suo centro di gravità, mentre S è quello del liquido rimosso. Essendo questi due centri situati nella medesima verticale, si avrà l'equilibrio. Se per altro il galleggiante s'inclini alquanto, prendendo la posizione B, non si cambia il suo centro di gravità G, ma muta posto il centro della spinta, il quale, ad esempio, si porterà in S'. Condotta la verticale VE, questa incontrerà la prima in M, e tal punto è il metacentro. Si vede poi che cadendo il metacentro M al disotto del centro di gravità G, il corpo tenderà ad allontanarsi sempre più dalla primiera posizione, cioè l'equilibrio sarà instabile. Che se invece il centro della spinta fosse in S'' in modo che il metacentro M' fosse al disopra di G, il galleggiante tenderebbe a riprendere la posizione primitiva, e l'equilibrio sarebbe stabile (50).

99. Applicazioni dei precedenti principii. — Dal fin qui detto risulta, chè mentre una nave viene caricata si deve immer-

gere sempre più, dovendo spostare un volume maggiore di liquido: risulta ancora che la nave deve affondarsi di più nell'acqua dolce, che nella salata, perchè questa è di quella più densa. Si può calcolare quant'acqua abbia a spostare un vascello carico. Difatti se una nave con il suo carico pesa, ad esempio, 200 tonnellate, cioè 200,000 chilogrammi, l'acqua rimossa dovrà pure pesare 200,000 chilogrammi. Ora sapendosi, che l'acqua dolce pesa chilogrammi 1000 per ogni metro cubo, conchiuderemo che la nave deve spostare 200 metri cubi di acqua dolce: ne scaccerà poi meno di acqua salata, la quale pesa 1026 chilogrammi per ogni metro cubo. Le cose disopra esposte ci spiegano ancora alcuni fatti relativi al nuoto degli animali e degli uomini. Il corpo umano pesa presso a poco quanto l'acqua, specialmente se è salata: parrebbe pertanto che fosse cosa molto facile il nuotare. Pure la cosa non è così per il motivo, che riesce difficile all'uomo il tenere la testa fuori dell'acqua, essendo la testa molto pesante relativamente all'altre parti del corpo; il che non avviene nei quadrupedi. Le persone grasse nuotano più facilmente delle magre, perchè spostano maggior volume di acqua senza avere un peso proporzionalmente maggiore. Se l'uomo caduto nell'acqua si ponesse orizzontalmente alla supina e procurasse di stare sott'acqua colla maggior parte del corpo, non si annegherebbe: ma in generale chi trovasi in tal posizione cerca di sollevare le braccia e la testa dall'acqua per chiedere soccorso. Non essendo allora sommersa una parte del corpo, la perdita di peso è minore, e l'uomo affonda sempre più finchè introducendosi il liquido nel suo stomaco, la spinta non è più sufficiente a tenerlo a galla, onde esso si sommerge e muore. È noto che dopo qualche tempo il cadavere dell'annegato torna a galla: la ragione di che è, che la putrefazione dei visceri sviluppa diversi gas, i quali gonfiano e distendono la pelle, in guisa che il volume del corpo si aumenta notevolmente senza che il peso cambii in modo apprezzabile: la spinta quindi addiviene maggiore del peso del corpo, e fa salir questo verso l'alto.

100. Peso specifico. — Dicesi *peso specifico* di un corpo il rapporto che passa tra il suo peso e quello di un egual volume di acqua distillata ed alla temperatura di quattro gradi centesimali. Ond'è che per avere tale peso, bisogna prendere quello del corpo, e quello di un egual volume di acqua nelle dette condizioni, e dividere il primo peso per il secondo. Riflettasi però, che il numero, il quale esprime il peso di un volume di acqua eguale a quello del corpo, esprime in pari tempo il volume dell'acqua e per conseguenza quello del corpo. Invero sappiamo che un centimetro cubo di acqua distillata ed alla temperatura di 4° C. pesa un grammo, e che perciò un decimetro cubo o litro pesa un chilogramma: dunque il peso d'una quantità di acqua espresso in chilogrammi e grammi indicherà in decimetri e centimetri cubi il volume dell'acqua, e per ciò anche quello del corpo. Invece pertanto di dire, aversi il peso specifico di un corpo, dividendo il suo peso per quello di un egual volume di acqua, potremo dire, che si ha col dividere il suo peso per il suo volume, od in altri termini, che il peso specifico di un corpo è il peso d'una unità di volume del corpo stesso.

Otteniamo adunque il detto peso specifico col tagliare in un corpo un decimetro cubo e pesar questo. Ad esempio, un decimetro cubo di ferro pesa chilogrammi 7,7, e per ciò si dice: 7,7 essere il suo peso specifico. Un litro di grano pesa in media chil. 0,752; e questo è il suo peso specifico *apparente*. Si dice *apparente* perchè tra vago e vago vi è aria atmosferica. Il legno ha un peso specifico apparente minore di quello dell'acqua nella quale per conseguenza galleggia; e ciò nonostante il suo peso specifico reale è maggiore di quello dell'acqua; onde le fibre del legno separate ed immerse nell'acqua calano al fondo.

101. Determinazione del peso specifico dei corpi solidi. — Tre sono i metodi coi quali si può determinare il peso specifico d'un corpo solido, cioè metodo della *bilancia idrostatica*, 2° metodo della *boccetta*, 3° metodo dell'*areometro di Nicholson*. Incominciamo dal primo. All'uncino di un piatto della bilancia *idrostatica* (96) per mezzo d'un filo sottile si attacca un pezzo della sostanza, il cui peso specifico si vuole conoscere. Quindi mentre sta nell'aria si equilibra con grammi che si pongono nell'altro bacino. Avrassi così il peso del corpo (*). Abbassando il fusto della bilancia, si fa immergere il corpo nell'acqua distillata, e che trovasi alla temperatura di 4° C. contenuta nel sottoposto recipiente. L'equilibrio rimane turbato, e per ristabilirlo converrà porre dei grammi nel piatto, su cui il corpo sta appeso, i quali grammi esprimeranno il peso dell'acqua rimossa (96) ossia di un volume di acqua eguale a quello del solido. Dividendo il primo per il secondo peso, il quoto esprimerà il cercato peso specifico.

Nel secondo metodo si fa uso di una piccola boccetta a pareti sottili con apertura munita di un turacciolo smerigliato, che porta un foro verticale, a cui sta annesso un tubo di cristallo. Empiuti d'acqua la boccetta ed il tubo fino ad un segno tracciato su quest'ultimo, si asciuga con cura l'apparecchio, e si pone sul piatto di una bilancia accanto al corpo solido già pesato, e di cui si cerca il peso specifico. Stabilito l'equilibrio, si prende la boccetta, le si toglie il turacciolo, e s'introduce in essa il corpo, badando di scacciare l'aria, che potrebbe mettersi fra il corpo e l'acqua, o coll'ebolizione, o col vuoto della macchina pneumatica (189), si ripone il turacciolo, si rifonde acqua, finchè il livello ritorni al segno di prima, e dopo di avere bene asciugata la boccetta, si torna a collocarla nel piatto della bilancia. L'equilibrio non sussiste più, perchè il corpo introdotto nella boccetta ne ha scacciato un volume di acqua eguale al suo. Basterà per conseguenza porre dei grammi nel bacino, affinchè la bilancia torni ad essere orizzontale, per conoscere il peso di questo volume d'acqua; ed in tal modo avremo i due elementi necessarii alla determinazione del peso specifico. Possiamo in terzo luogo ottener questo coll'*areometro di Nicholson*, il quale apparato è una bilancia, quantunque non ne abbia la forma. Questo

(*) Vedremo (187), che pesandosi il corpo nell'aria, perde tanto di peso, quanto è il peso dell'aria scacciata: quindi se si esiga un'esattezza scrupolosa, dovrà aggiungersi all'ottenuto peso del corpo quello di un egual volume d'aria all'attuale pressione e temperatura.

consiste in un galleggiante G (fig. 74) cilindrico terminato da due coni. Nella parte superiore porta una fina asticella A, che termina con un piattino R, e nella parte inferiore ha un recipiente conico C, in cui si possa collocare un piccolo corpo. L'apparecchio è zavorrato in guisa che possa mantenersi verticale allorchè galleggia nell'acqua, senza però che giunga ad immergersi fino al segno O, che dicesi *punto d'affioramento*. Posto l'apparato nell'acqua, si mettono nel piattello piccoli pesi noti, che facciamo immergere l'istrumento fino al punto O: poi si aggiunge al medesimo piattello un frammento del corpo, il cui peso specifico si tratta di determinare, il quale farà immergere di più l'apparato. Allora si tolgono dal piattino tanti pesetti, quanti sono necessarii per fare tornare il punto d'affioramento alla superficie di livello. Ognuno vede, che i pesi tolti indicano il peso del corpo nell'aria. Dopo ciò si toglie quest'ultimo da R e si pone nel cestello C. L'apparato non trovasi più immerso fino al punto d'affioramento, perchè il corpo, stando ora nell'acqua, ha diminuito tanto di peso quanto è il peso di un egual volume di acqua (96); e tal decremento di peso si misura coll'aggiungere pesetti noti in R, finchè non torni l'apparato ad immergersi sino in O. Avremo così quanto basta per calcolare il peso specifico. Il descritto areometro è tanto più sensibile, quanto più fina è l'asta A, perchè in tal caso le minime variazioni di peso fanno variare molto la parte immersa di dett'asta. Se il corpo, il cui peso specifico si studia, è più leggiero dell'acqua, si dispone nel cono C una reticella metallica destinata ad impedire, che esso corpo galleggi. Se la sostanza sottoposta all'esperimento è molto porosa, fa d'uopo ricoprirla con un sottilissimo strato di vernice per non fare penetrare l'acqua nei suoi pori. Finalmente se il corpo è solubile nell'acqua, bisogna cercare il suo peso specifico relativamente ad un altro liquido, in cui non sia solubile, e del quale il peso specifico sia noto. Moltiplicando poi il peso specifico del corpo stesso relativo a questo liquido per il peso specifico del liquido medesimo, si avrà nel prodotto il peso specifico del corpo relativamente all'acqua; essendo ben chiaro, che se, ad esempio, si trovi, che un solido è tre volto più pesante d'un liquido, il quale supponiamo due volte più denso dell'acqua, quel corpo pesa sei volte più di questa. Ma se i comuni solventi tutti sciolgano la sostanza, che si esperimenta, come spesso avviene in chimica organica, si può ricorrere secondo il suggerimento di Stolba ad una soluzione satura della sostanza medesima; della qual soluzione va poi determinata la densità.

102. Determinazione del peso specifico del corpo umano. — Per avere il peso specifico del corpo dell'uomo è necessario, secondo ciò che abbiamo detto, pesarlo nell'aria e nell'acqua. Se nessuna difficoltà presenta la prima pesata, ne offre però la seconda, la quale si può effettuare così: si cinge l'uomo con una fascia di cuoio circa il centro di gravità (48), e gli si pone in bocca un tubo per la respirazione. Per la cintura si appende ad un dinamometro (22), che trovasi fisso fuori dell'acqua, e quindi si fa immergere tutto l'individuo nel liquido, escendo fuori dalla superficie di livello l'estremità del tubo. Si legge allora nel dinamometro il peso

del corpo immerso, e dopo ciò tolta la cintura, e pesatala fuori e dentro l'acqua, si conoscerà il peso dell'acqua rimossa da questa: onde sottratto questo peso al decremento subìto dal corpo umano, verrassi a conoscere il peso dell'acqua scacciata dal solo corpo dell'individuo. Qui però è da riflettersi che a ciascuna inspirazione un volume d'aria eguale a mezzo litro (663) e che pesa solo grammi 0,6 (523) penetra nei polmoni. Aumentandosi quindi il volume del corpo di mezzo litro, sposta un mezzo litro d'acqua di più, ed il corpo perde altri 500 grammi di peso. Da ciò viene, che il peso specifico del corpo umano non è lo stesso alla fine dell'inspirazione, ed alla fine dell'espirazione. Si può pertanto convenire di prenderlo alla fine d'una espirazione, e si può avere il peso d'un egual volume di acqua con quest'altro metodo. Si pesa su d'una bilancia a bascule (66) un tino pieno di acqua in modo che non se ne possa aggiungere una minima quantità, senza che questa si versi. In detto recipiente si fa entrare un uomo, sicchè tutto vi s'immerga ad eccezione della testa. In un dato momento, dopo un'espirazione, chiuse le fosse nasali e le labbra, costui immerge nell'acqua anche la testa, e poscia si rialza ed esce dal tino, facendo il tutto con somma precauzione, affinchè l'acqua non si agiti, e badando bene di fare scolare le gocce di acqua, che aderiscono alla pelle, nel tino. Si pesa questo di nuovo, e la differenza dei pesi farà conoscere quello dell'acqua spostata.

103. Determinazione del peso specifico dei liquidi. — Quattro metodi diversi si possono usare per determinare il peso specifico dei liquidi; il primo dei quali è quello della bilancia idrostatica. Ad uno dei bracci di questa si appende un corpo, su cui i liquidi non abbiano in generale azione chimica, ad esempio, una sfera cava di vetro zavorrata con mercurio. Equilibrata la sfera nell'aria, si fa pescare dentro al liquido, di cui si cerca la densità. L'equilibrio è rotto, ed il numero dei grammi necessario per ristabilirlo ci rappresenta il peso di un volume di liquido eguale a quello della sfera. Si asciuga dopo ciò quest'ultima, ed equilibratala di nuovo nell'aria, s'immerge nell'acqua distillata. L'equilibrio è turbato di nuovo, ed i grammi aggiunti per ristabilirlo ci fanno conoscere il peso d'un eguale volume di acqua. Diviso il primo peso per il secondo, il quoto sarà il peso specifico cercato. Il secondo metodo è della boccetta. Si prenda una boccia consimile a quella usata per i solidi (101), e si pesi prima vuota e poi piena del liquido, che si vuole assoggettare all'esperimento; la differenza delle due pesate darà il peso d'un volume del liquido eguale alla capacità interna del recipiente. Vuotata quindi la boccetta, si asciuga con molta cura, e poi si empie con acqua distillata, e si torna a pesare. Tolto a questo peso quello della boccia vuota il residuo sarà il peso di un volume d'acqua eguale a quello dell'altro liquido: si opera quindi secondo il solito. In terzo luogo si può fare uso dell'*areometro di Fahrenheit*, che per lo più è di vetro zavorrato di mercurio, ed ha forma consimile a quello di Nicholson (fig. 74) privo però del secchietto C. Deve conoscersi il peso dell'apparato, il qual peso chiameremo P. Immerso l'areometro nel liquido da sperimentarsi, si nota il numero dei grammi necessarii per farlo affondare fino al

punto d'affioramento O: sia p questo numero. Dopo di averlo bene asciugato, si porta l'istrumento a galleggiare nell'acqua distillata; e si tiene conto del peso p' addizionale richiesto per affondare l'areometro fino ad O. Avremo così ottenuti i pesi di due volumi eguali del primo liquido e dell'acqua; i quali pesi sono $P+p$, $P+p'$: e per ciò $\frac{P+p}{P+p'}$ sarà il peso specifico cercato. L'ultimo metodo è basato sulla teoria dei vasi comunicanti (93). Si abbiano due tubi comunicanti: in uno di questi si versa l'acqua distillata, nell'altro il liquido che si ha da studiare. Se i liquidi non sono di natura da mescolarsi fra loro, le altezze delle due colonne fluide staranno fra di loro in ragione inversa delle densità, ossia dei pesi specifici. Indicando coll'unità quello dell'acqua, e con d quello dell'altro liquido, con a, a' le altezze delle rispettive colonne, si avrà

$$1 : d = a' : a \text{ e quindi } d = \frac{a}{a'};$$

basterà adunque dividere l'altezza della colonna d'acqua per quella dell'altro liquido, ambedue espresse in millimetri, per avere il cercato peso specifico. Il sig. Bortin ha molto vantaggiosamente applicato questo quarto metodo alle ricerche mediche sulla densità delle orine, e di altri liquidi dell'economia animale.

104. Bilancia densimetrica. — È cosa rarissima che due sostanze abbiano un medesimo peso specifico: quindi è che da questo si può riconoscere la natura di un corpo. Partendo da questo principio il chiarissimo ingegnere Roncalli ha costruito un apparato, da lui detto *Bilancia densimetrica*, con cui si può con tutta facilità e speditezza riconoscere la sostanza, della quale è formato un oggetto. Sia C (fig. 75) il centro di sospensione d'una leva di primo genere (30). All'estremo B del del braccio $CB = c$ si appenda un corpo, il cui peso assoluto è P, e che trovasi immerso in un liquido qualunque, ad esempio, acqua, e sia p il peso del liquido spostato. Si avrà come se al punto B sia applicato un peso eguale a $P - p$ (96). Un altro peso eguale a P s'applichi in un punto D dell'altro braccio in modo che si ottenga l'equilibrio, e si chiami x la distanza DC. Per l'equilibrio si dovrà avere (32) $P \times x = (P - p) \times c$, e quindi $x = \frac{P - p}{P} \times c$.

S'indichino ora con D il peso specifico del corpo, e con d quello del liquido. Siccome il peso specifico è il peso dell'unità di volume (100), avremo $P = V \times D$, $p = V \times d$; essendo V il volume del corpo immerso e quindi anche quello del liquido spostato. Sostituendo dunque tali valori nella precedente equazione, essa passerà ad essere

$$x = \frac{V \times D - V \times d}{V \times D} \times c, \text{ ossia } x = \left(1 - \frac{d}{D}\right) \times c.$$

Risulta da quest'ultima formola, che la distanza $CD = x$ non dipende affatto dal volume del corpo e dal suo peso assoluto, ma solamente dalla sua densità. Adunque nel punto D si potrà segnare il peso specifico a cui corrisponde, od il nome di quella sostanza, che è di tale densità dotata.

Esposta la teoria della bilancia densimetrica, vediamo come essa è costruita. A B (fig. 76) è una bilancia comune, che porta appeso in B un bacino G costantemente immerso nell'acqua: un altro bacino F e pure stabilmente appeso in E. Una ghianda A, disposta a vite nell'estremo dell'altro braccio, serve ad equilibrare tutto il sistema. Quando si voglia conoscere la natura della sostanza, di cui un oggetto è formato, si pone questo nel piatto F, e si sospende un piatto mobile DL ad una distanza da C eguale a CE, e con pesi aggiunti si stabilisce l'equilibrio, ottenendosi così che il piatto DL ed i pesi addizionali formino un peso eguale a quello del corpo collocato in F. Dopo ciò si passa l'oggetto nel piatto G, e si fa scorrere il bacino DL finchè di nuovo non si stabilisca l'equilibrio, e nel punto in cui si ferma il detto piatto si legge il nome della sostanza, di cui l'oggetto è formato, oppure un numero corrispondente a quello della tabella, in cui la detta sostanza sta registrata.

105. Areometro di Baumé. — Gli areometri di Nicolson e di Fahrenheit superiormente descritti hanno un punto fisso d'immersione, e per ciò il volume della loro parte immersa è sempre lo stesso. Per farli poi immergere fino al punto d'affioramento si caricano di pesi, che variano secondo i liquidi in cui galleggiano. Tali areometri adunque sono a *volume costante ed a peso variabile*. Si costruiscono altri areometri, il cui peso non varia mai: questi non hanno punto fisso d'affioramento, ed il volume della parte sommersa non rimane costante, ma varia secondo la densità del liquido, in cui galleggiano: sono cioè *a volume variabile ed a peso costante*. Di questi abbiamo ora a parlare, incominciando dall'*areometro di Baumé*. Tale apparato divenuto di un uso generale è un galleggiante di vetro (fig. 77) zavorrato con mercurio o con pallini di piombo, rigonfiato un poco al disopra dell'estremità inferiore, e munito superiormente d'un cannello, nel cui interno contiensi una carta, che porta la graduazione dell'istrumento. Questa si fa in due modi secondo che l'areometro è destinato a galleggiare nei liquidi più densi o meno densi dell'acqua. Nel primo caso si zavorra in modo il galleggiante, che s'immerga nell'acqua distillata sin quasi all'estremità superiore del cannello, per esempio, in A: preparata poi una soluzione di 15 parti in peso di sale marino in 85 parti d'acqua, in questa s'immerge l'istrumento. Il detto liquido è più denso dell'acqua, onde l'areometro sporge da esso di una quantità AB. Al punto A si segna zero, ed al punto B 15; poi si divide l'intervallo in 15 parti eguali, e si continua la scala fino all'origine del cannello. Che se l'apparato deve servire pei liquidi meno densi dell'acqua, conviene dargli un peso tale, che in una soluzione di 90 parti in peso d'acqua e 10 di sal marino esso s'immerga fino al punto C: quindi fattolo pescare nell'acqu distillata, si nota il punto d'affioramento F, ove si scrive 10, segnando zero al punto C. L'intervallo FC si divide in 10 parti eguali, e tale divisione si prosegue fino all'estremo superiore del cannello. Comunemente si sogliono sopprimere le prime 10 divisioni. Si costruisce in oltre un areometro detto *universale*, che porta le due scale di Baumé, e può servire per tutti i liquidi. Sopra uno dei fianchi del cannello si traccia una scala ascendente da zero a 60°, e sull'altro

una scala discendente da zero a 70°. La prima serve alla misura delle densità minori di quella dell'acqua, e per fare questa ricerca basta immergere l'istrumento nel liquido come sta. Se si tratta invece di determinare una densità maggiore di quella dell'acqua, bisogna ricorrere alla seconda scala; e siccome in questo caso il peso dell'apparato deve essere tale da farlo immergere fino allo zero della detta scala; bisogna appendere al suo estremo inferiore una piccola palla di vetro contenente una proporzionale quantità di mercurio. L'areometro di Baumé è adoperato comunemente per avere con prontezza e sufficiente approssimazione dati assai utili sulla concentrazione più o meno grande di un sciroppo, di un acido, ecc. Ad esempio, in un sciroppo a freddo, quando sia giunto al giusto grado di concentrazione, l'areometro di Baumé deve segnare 35°; nell'acido solforico 66°; nell'acido azotico 36°.

106. Alcoometro centesimale. — Gay-Lussac costruì un apparato detto *alcoometro centesimale*, mediante il quale si può con sufficiente esattezza conoscere quant'acqua si trovi nell'alcool di commercio. La forma di quest'apparecchio è presso a poco simile a quella dell'areometro di Baumé, da cui differisce nella graduazione. Questa si ottiene, zavorrando l'istrumento in modo che s'immerga quasi totalmente nell'alcool puro, la cui densità è 0,792, ed al punto d'affioramento si segna 100. Quindi si fa pescare nell'acqua distillata ed il nuovo punto di affioramento è lo zero della scala. Preparati poi dei miscugli di 10 parti d'alcool puro e 90 di acqua, di 20 d'alcool ed 80 di acqua, di 30 d'alcool e 70 d'acqua ecc., vi s'immerge successivamente l'alcoometro, segnando 10, 20, 30..... nei varii punti d'affioramento, e suddividendo gli intervalli in 10 parti eguali. Se l'istrumento così graduato immerso nel alcool di commercio si affondi fino alla divisione 35, ciò significherà, che quel liquido contiene presso a poco in 100 parti 35 di alcool puro e 65 di acqua. Cambiando col variare della temperatura la densità dei corpi, e cambiando diversamente nelle diverse sostanze; ne viene che la graduazione dell'alcoometro non dà indicazioni esatte se non che alla temperatura di 15° C. A questo inconveniente rimediò Gay-Lussac, costruendo delle tavole, in cui si trovano registrate le correzioni da farsi secondo le diverse temperature alle indicazioni del suo apparato. Invece di graduare questo nel modo indicato, è più comodo confrontarlo con un alcoometro campione. Sia M (fig. 78) il campione, vicino al quale sia collocato l'alcoometro da graduarsi *N*, o *P*, i cui punti d'affioramento nell'acqua e nell'alcool puro, precedentemente determinati, siano O, ed R, ovvero O' ed R'. Per i punti C, R ed A, O, ovvero per i punti R', C ed O', A, si conducano due rette, che andranno a riunirsi in un punto N'. Da questo punto si fanno partire delle rette, che passino per le varie divisioni dell'alcoometro campione. Dove queste incontrano l'altro areometro, ivi si segnano i corrispondenti gradi. Si fanno consimili apparati per il latte, per l'orina, ecc. (*).

(*) Dicesi *urometro* l'apparato con cui i medici determinano il peso specifico dell'urina, e che ha la forma degli altri areometri. Siccome però il peso specifico dell'urina è di poco superiore a quello dell'acqua così esso sarebbe rappre-

107. Densimetro. — Il *densimetro* è un areometro a peso costante, che immerso in un liquido, indica subito qual sia il peso specifico di questo. Per i liquidi più pesanti dell'acqua si stabilisce la graduazione nel seguente modo. Si zavorra l'istrumento talmente che la parte superiore del cannello affiori nell'acqua pura, ed in quel punto si segna 1, poi si compongono dei liquidi formati di acqua e di differenti sali in proporzioni crescenti. Si determina per ciascuno di questi liquidi il peso specifico con il metodo della boccetta (103) e questo peso specifico si scrive in quel punto del cannello, in cui cade l'affioramento quando l'apparato sia immerso nella data soluzione. Per i liquidi più leggieri dell'acqua il punto 1 corrisponde nella parte più bassa del cannello, e si fa la graduazione nel modo sopraesposto con miscugli di acqua e di alcool.

sentato da cifre decimali. A semplicizzare la cosa invece d'indicare coll'unità la densità dell'acqua, si è fatta eguale a 1000; onde non diremo che una data urina ha il peso specifico di 1,03... 1,015, ma invece che ha quello di 1030, 1015, con che non si turba affatto il rapporto. Uno degli urometri più semplici è quello che va sotto il nome di Skoda. Esso non è altro che un piccolo areometro, che nella parte più alta dell'asta, e precisamente dove giunge il suo punto d'affioramento, quando sia immerso nell'acqua distillata, porta segnato il n. 1000, e nella parte più bassa, in un punto determinato coll'immergere l'apparato in un liquido di peso specifico conosciuto, il n. 1050. Lo spazio intermedio è diviso in 50 parti eguali da linee nere trasversali. La lunghezza di questa scala comprende gli estremi, tra i quali può oscillare ordinariamente la densità di qualunque urina. L'urometro d'Imbers non differisce dal sopra descritto che per giungere la scala fino al 1060, per essere i gradi segnati con punti, e con linee ogni 10 divisioni, e per mancare per la ristrettezza dello spazio di uno zero nelle cifre segnate, in modo che in luogo di 101, 102... si deve leggere 1010, 1020.... Molto diversa è la divisione della scala che si trova nell'urometro conosciuto sotto il nome di Heller, e che più comunemente oggi si trova in commercio. Esso consiste come gli altri in un piccolo areometro contenuto in un provino di cristallo, che serve a raccogliere l'urina da esaminarsi. Porta in alto segnato 0° nel punto corrispondente all'acqua distillata, ed è diviso in 8 parti eguali o gradi, suddivisi alla lor volta da 4 linee trasversali. Ogni grado o frazione deve moltiplicarsi per il n. 7, in modo che se l'urometro galleggia fino ad avere a fior d'acqua il n. 3, il peso specifico indicato sarà 21, ossia 1021; se il punto d'affioramento è il n. 4 si leggerà 1028. Sopra il 5° grado non rimane esatto il detto rapporto, cosicchè il 6° corrisponde a 1043, il 7° a 1050, l'8° a 1058. Nell'adoprare l'urometro bisogna aver riguardo alla temperatura dell'urina, la quale deve corrispondere a circa 15° C. ossia alla temperatura media delle camere dei malati, essendo che a questo grado di calore si suole graduare l'apparato. Se si facesse l'osservazione in una urina appena emessa, ossia a circa 36° C.; si avrebbe una densità inferiore alla vera. La differenza di pochi gradi di calore, per il variare delle stagioni, non produrrà una notevole alterazione nel risultato dell'osservazione, poichè l'effetto dell'aumento di calore viene compensato dall'essere l'urina nell'estate meno acquosa che nell'inverno, e così viceversa.

Del vario peso specifico si è voluto stabilire in una maniera semplice e diretta il peso dei materiali solidi contenuti nell'urina. Il Trapp crede sufficiente perciò moltiplicare per 2 le ultime due cifre segnate dall'urometro; in modo che se questo indicasse 1025 si avrebbero 50 grammi di materiali solidi per ogni litro d'urina. L'Henry stabilisce che il moltiplicatore debba essere 2,58. Il Becquerel poi ha redatta una tavola, in cui ha cercato di stabilire, in seguito a numerose esperienze, la relazione che passa tra i materiali solidi contenuti in un chilogrammo di urina e le diverse densità segnate dall'urometro. Secondo il Prof. Primavera però nessuno di questi tre metodi è completamente esatto.

108. Densimetro di Rousseau. — Rousseau ha immaginato un densimetro speciale per i liquidi, dei quali non si possiede che piccola quantità. Quest'apparato tanto utile nelle ricerche fisiologiche differisce dagli altri areometri in questo solo che all'estremo superiore dell'asta porta una capsula cilindrica della capacità di un centimetro cubo. Si fa la graduazione col zavorrare l'apparecchio in maniera, che posto questo nell'acqua pura emerga dalla superficie di livello tutto il cannello, segnandosi zero nel punto di affioramento. Empiuta quindi la capsula con acqua distillata, o ciò ch'è lo stesso postovi il peso di un gramma, si segna 20 al punto del nuovo affioramento; e l'intervallo si divide in 20 parti eguali. Si comprende, che per ogni grado di affioramento si esige nella capsula un peso di un ventesimo di grammo, ossia di grammi 0,05. Abbiasi ora un liquido, di cui si ami conoscere la densità. Si empie con questo liquido perfettamente la detta capsula; si pone l'apparato a galleggiare nell'acqua, e si legge qual sia la divisione, a cui corrisponde la superficie di livello di quest'ultima. Se indichiamo con n tale divisione, la densità del liquido sarà espressa da $0,05 \times n$; perchè questo è il peso di un centimetro cubo di quel liquido, mentre un egual volume di acqua pesa un grammo, e si sa che le densità dei corpi a volumi eguali sono proporzionali ai pesi.

109. Peso specifico di alcune sostanze dell'organismo umano. — Con i sovraesposti metodi si sono determinati i pesi specifici medii delle seguenti sostanze.

Sostanza	Peso specifico
Acqua distillata	1,0000
Sangue	1,0550
Siero del sangue	1,0270
Liquido cefalo-racchidico	1,0100
Saliva	1,0060
Bile	1,0260
Umor acqueo dell'occhio	1,0053
Orina	1,0250
Latte di donna	1,0203
Latte di vacca	1,0324
Latte di asina	1,0355
Pus denso	1,0300
Muscoli	1,0600
Tendini	1,1250
Nervi	1,0400
Cervello	1,0300
Arterie	1,0700
Vene	1,0450
Ossa	1,9750.

CAPO III.

NOZIONI D'IDRODINAMICA

110. Teorema di Torricelli. — Finchè un liquido è contenuto in un vaso, le cui pareti e fondo non presentano soluzioni di continuità, il liquido rimane in equilibrio, facendo pressione sul fondo e sulle pareti: ma se si viene ad aprire un foro inferiormente alla superficie di livello, l'equilibrio non può sussistere; e mancando in quella parte la parete che reagisce alla pressione del liquido, questo esce dall'orifizio. Per sapere qual sia la velocità del liquido al momento iu cui esce dal vaso, si ricorre al *principio di Torricelli*, il quale si enuncia così: la velocità posseduta da una molecola d'un liquido all'escire da un orifizio aperto in una parete sottile di un vaso, è eguale a quella che la molecola stessa acquisterebbe, se cadesse liberamente da un'altezza eguale alla distanza compresa tra il livello superiore del liquido ed il centro dell'orifizio. Per intendere come si applichi questo principio bisogna ricordarsi, che un grave dopo di essere caduto da un'altezza s si trova di avere una velocità espressa da $v = \sqrt{2gs}$ (52). Avremo adunque la velocità dello sgorgo, ponendo in questa formola invece di s la distanza del livello del liquido dal centro dell'orifizio. Si noti poi, che secondo questo principio la detta velocità di sgorgo per nulla dipende dalla densità del liquido.

111. Dimostrazioni sperimentali del detto teorema. — Si abbia un recipiente di cristallo avente vicino al fondo un'apertura munita di un corto tubo piegato verticalmente verso l'alto e fornito di chiavetta. Posto un liquido nel vaso, e girata la chiavetta, si vede uno zampillo innalzarsi verticalmente e giungere quasi alla superficie di livello. Ma si sa (56) che per iscagliare un corpo in alto, onde farlo giungere ad una data altezza, è necessario comunicargli quella velocità, che esso acquisterebbe cadendo in basso da quell'altezza: è adunque vero, che il liquido esce dal vaso colla velocità dovuta all'altezza della superficie di livello sul centro dell'orifizio. La detta legge si dimostra nel seguente modo. Si empia di acqua (fig. 79) il vaso ABDC, e per mantenere in esso sempre alla medesima altezza la superficie di livello, ci si ponga un pallone pieno d'acqua rovesciato, e così sostenuto, che la sua bocca coincida esattamente colla superficie di livello BD del vaso. Sia in O un'apertura, e si chiami h la distanza del centro d'esso

orifizio dal livello BD. Se le molecole del liquido giunte in O non avessero alcuna velocità, cadrebbero lungo la verticale OG, ed arriverebbero in G dopo un dato tempo t. Esprimendo con h' lo spazio OG, si avrebbe (52) $h'=\frac{gt^2}{2}$, da cui si ricava $t^2=\frac{2h'}{g}$ (m). Supponiamo al contrario, che le molecole stesse vengano soltanto sottoposte all'impulso o velocità acquistata nell'escire da O. In tale ipotesi, siccome l'urto è istantaneo, il moto sarebbe uniforme e le molecole liquide nel tempo t percorrerebbero uno spazio OE, che esprimeremo con a. Ma la gravità e la spinta agiscono contemporaneamente, e per ciò la vena liquida percorrerà la curva parabolica OF, ed una data molecola presa di mira dopo il tempo t si troverà in F. Ora lo spazio $OE=GF=a$ sarebbe percorso con moto uniforme, per cui si avrebbe $a=vt$ (18). Supponendo vera la legge torricelliana, si faccia $v=\sqrt{2gh}$, e si verrà ad avere $a=t\sqrt{2gh}$, e quindi $t^2=\frac{a^2}{2gh}$ (n). Confrontate le due equazioni (m), (n) se ne ricava $\frac{a^2}{2gh}=\frac{2h'}{g}$, e quindi $a^2=4hh'$. È chiaro che quest'ultima equazione non si verifica, se non quando sia vero il principio di Torricelli: ma l'esperienza ci dimostra verificarsi sempre l'equazione, come si può vedere misurando in ogni caso a, h, h': dunque è vera la legge.

112. Portata teorica e portata effettiva. — Chiamasi *portata* o *dispensa* la quantità di liquido, che effluisce da un orifizio in un dato tempo. Ognuno vede, che la dispensa sarà tanto maggiore, quanto più grande è la sezione o superficie dell'apertura, e quanto maggiore è la velocità dello sgorgo. Suppongasi costante tale velocità: il liquido sgorgato, se si movesse per la sola velocità che ha nell'escire dal vaso, in un tempo t formerebbe un cilindro o prisma, la cui base è la sezione dell'orificio, e la cui altezza è lo spazio, che in causa della velocità ricevuta nell'efflusso si percorrerebbe dallo strato liquido, il quale è escito per il primo dall'apertura del vaso, spazio che per conseguenza è dato dalla detta velocità moltiplicata per il tempo. Se adunque nominiamo s la superficie dell'orifizio, t il tempo, v la velocità, d il peso specifico del liquido, e P la portata, avremo la dispensa in volume espressa da $P=svt$, e quella in peso da $P=svtd$, e ponendo invece di v l'equivalente suo valore $\sqrt{2gh}$ (110) le due suddette formole passeranno ad essere $P=st\sqrt{2gh}$, $P=std\sqrt{2gh}$. Se in un caso particolare si calcoli la portata colle suddette formole, e poi si misuri il liquido realmente sgorgato, ci accorgeremo, la portata *reale* od *effettiva* essere minore della *teorica*. La detta differenza deve attribuirsi alla *contrazione della vena*.

113. Contrazione della vena. — Nel calcolare la portata noi partimmo da un dato falso, poiche supponemmo, che il liquido, escendo dall'orifizio, formasse un cilindro o prisma avente per base la sezione dell'orifizio stesso. L'attenta osservazione però dimostra, la cosa non essere così. La vena, che esce da un foro praticato in

parete sottile, non presenta nella sua origine la forma di prisma o cilindro, ma si contrae rapidamente fino ad una piccola distanza dall'apertura, e poi continua il suo corso con una forma sensibilmente prismatica o cilindrica. Vi è adunque una contrazione non presa a calcolo nella teoria, ed il prisma o cilindro liquido, che costituisce la portata, non ha per base l'orifizio, ma bensì la *sezione contratta* della vena. Questa sezione sta alla superficie dell'apertura come 62 : 100, e per conseguenza la portata effettiva deve essere presso a poco $\frac{62}{100}$ della portata teorica; onde le due formole del numero precedente perchè corrispondano alla realtà debbono tramutarsi nelle due seguenti $P = 0{,}62 s t \sqrt{2gh}$, $P = 0{,}62 s t d \sqrt{2gh}$.

La causa della contrazione della vena sembra essere questa: se solamente il liquido sovrincombente al foro si movesse per escire, la vena sarebbe cilindrica o prismatica fin dalla bocca d'escita: ma anche il liquido, che trovasi lateralmente all'apertura, si muove e va nelle direzioni oblique *ab*, *mn* (fig. 80) restringendo in tal modo la vena. Se si adatta all'orifizio una cannula cilindrica o conica la portata effettiva si aumenta, purchè il liquido bagni le sue pareti, e se tal tubo addizionale è cilindrico la portata è aumentata nel rapporto di 82 a 100. Si ha poi il massimo aumento, quando si fa uso di una cannula conica convergente all'esterno, i cui lati opposti siano inclinati l'uno sull'altro di 13 o 14 gradi. Anche l'ertezza della parete, in cui è praticato il foro, influisce sulla portata, perchè essa ertezza fa l'effetto di un tubo addizionale.

114. Vaso di Mariotte. — Se la velocità dello sgorgo è quella dovuta all'altezza di livello sopra al centro dell'orifizio, ne viene, che scemando quest'altezza col vuotarsi del vaso, la velocità dell'efflusso dovrà pure andare scemando. Si sono immaginati più apparecchi per rendere l'efflusso di velocità costante, ed il più semplice è il *vaso di Mariotte*. Consiste questo (fig. 81) in un vaso contenente il liquido, la cui bocca è chiusa da un turacciolo attraversato da un tubo AB, il cui estremo inferiore è immerso nel liquido. Alquanto sotto all'estremo A del detto tubo il vaso ha un'apertura laterale O fornita di chiavetta. Sul principio dello sgorgo la velocità di questo va decrescendo, ma coll'abbassarsi della superficie di livello si dirada l'aria racchiusa nella parte superiore del vaso e decresce la pressione che essa fa sulla superficie liquida. Allora la pressione atmosferica, che agisce per l'apertura del tubo, fa rapidamente calare la superficie di livello del liquido, il quale sta entro al tubo, fino in A, e delle bollicine d'aria, attrversando il liquido, si portano nella parte superiore del vaso per addensare alquanto l'aria rarefata ivi racchiusa. In questo momento comincia lo scolo ad essere costante. Difatti lo strato liquido orizzontale, che passa per A, è tutto egualmente premuto, e la pressione è eguale a quella di un'atmosfera. Tale invero è la pressione subìta dalla parte dello strato sottoposta all'apertura A del tubo, e tale pur deve sempre mantenersi la pressione subìta dall'altre parti dello strato stesso; poichè quando per l'abbassarsi della superficie di livello, e per il diradarsi dell'aria racchiusa

va a diminuire questa pressione, quella dell'atmosfera, che agisce all'estremo del tubo, rimanendo superiore, obbliga altre quantità d'aria a penetrare nell'interno, e così si ristabilisce l'equilibrio. Viene poi per conseguenza, che la velocità costante dell'efflusso è quella dovuta alla distanza che passa tra lo strato liquido lambente l'estremo A del tubo, e quello che corrisponde al centro del foro O.

115. Efflusso di un liquido per un lungo tubo. — Sia M (fig. 82) un recipiente pieno di un liquido, ad esempio, di acqua fino ad H, e nella sua parete laterale abbia un foro circolare O. Se questo foro fosse all'esterno totalmente libero, l'acqua vi sgorgherebbe colla velocità dovuta all'altezza HO (110) ed offrirebbe il fenomeno della vena contratta (113). Che se vi fosse adattato un corto tubo di materia capace di essere bagnata, l'attrazione, che le pareti della cannula eserciterebbero sull'acqua, diminuirebbe la contrazione della vena, e quindi aumenterebbe la portata. Ben diverso è l'effetto, che si ottiene se invece di una cannula si adatti al foro O un lungo tubo. L'acqua scorrendo per questo verrebbe ad aderire alle pareti di esso, e si verrebbe a formare uno strato immobile di acqua, quasi come un tubo liquido, entro al quale scorrerebbe la vena liquida. Tra il liquido che scorre e quello formante lo strato immobile vi deve essere attrito, il quale fa consumo di velocità. Si capisce poi che la resistenza proveniente da questo attrito, e quindi la perdita di velocità sono proporzionali alla lunghezza del tubo, e che la detta resistenza va vincendosi dall'acqua via via che scorre. Pure la velocità non può perdersi dall'acqua un poco alla volta, perchè essendo il tubo tutto di egual diametro, ed essendo tanto il liquido che esce da un estremo, quanto n'entra per l'altro, l'acqua deve avere in ogni sezione del tubo un'eguale velocità. Vediamo adunque che cosa mai avvenga. Se non vi fosse il tubo, il liquido, come abbiamo detto, escirebbe dal vaso con una velocità dovuta a tutta l'altezza HO; ma essendovi il tubo, esce con una velocità minore di quella; onde deve dirsi, che una sola parte della forza motrice serve a fare scorrere il liquido, ed il resto serve a vincere le resistenze; la qual parte di forza è portata con sè dall'acqua per venire con essa vincendo l'attrito via via che scorre. La suddetta parte di forza portata, per così dire, dal liquido si manifesta sotto forma di pressione idrostatica, ossia di pressione che si esercita sulle pareti del tubo. Scorrendo per tanto l'acqua ed andando così a consumare poco alla volta la forza, che seco porta, nel vincere l'attrito; la pressione laterale contro le pareti del tubo dovrà andare sempre più scemando. Ciò che abbiamo detto si può esprimere graficamente. Dalla forza totale corrispondente all'altezza HO deve prima di tutto togliersi una parte H*h*, che corrisponde alla perdita di velocità subita dal liquido nell'inboccare nel tubo; un'altra parte *h*R è quella che dà la velocità al liquido: la restante RO sarà quella, che continua a manifestarsi sotto forma di pressione laterale, e che è destinata a vincere l'attrito. La pressione laterale, come si disse, decresce proporzionalmente al cammino percorso dall'acqua, e finirà coll'essere zero all'estremo E del tubo. Se in A, B, C, D, s'immaginino

impiantati verticalmente tubi di vetro; il liquido si eleverebbe in questi in modo che il peso della colonna liquida sollevata verrebbe a fare equilibrio alla pressione che ha luogo nei punti d'impianto. Si dimostra coll'esperienza, che la superficie di livello delle dette colonne verticali si trovano in una retta RE, che parte da R e va alla bocca di sgorgo E. Siccome la velocità del liquido si mantiene eguale in qualunque parte del tubo, ed è sempre quella dovuta ad *h*R; se noi conduciamo la retta *hh'* parallele ad RE, le parti di ordinate comprese fra queste due linee saranno tutt'eguali fra di loro, e rappresenteranno la velocità del liquido in ciascun punto. Si vede adunque che in un punto qualunque C il pezzo d'ordinata CR''' rapresenta la pressione laterale, e la parte intercettata fra R''' e la retta *hh'* la velocità del flusso nel punto C. La parte RO della carica totale si suol chiamare *altezza della resistenza*, la parte R*h' altezza della velocità di scolo*, e l'ultima parte H*h altezza della resistenza al passaggio*. Poichè l'attrito sarà tanto maggiore quanto più lungo è il tubo, e quanto più è grande la velocità di sgorgo, perchè tanto maggiore sarà il numero delle molecole del liquido, che in un dato tempo si debbono distaccare dallo strato immobile; ne viene che coll'aumentarsi della velocità e della lunghezza del tubo, si aumenta ancora l'altezza della resistenza, ossia OR.

116. Efflusso per un lungo tubo di diametro vario. — In un tubo di costante diametro la velocità, come abbiamo testè osservato, è eguale in tutti i punti; perchè per ogni sezione di esso dovendo in un tempo eguale passare una egual quantità di liquido; se le sezioni sono eguali, non possono non esserlo le velocità. Ma se il tubo varia di diametro, presentando ove una maggiore, ove una minore sezione, dovrà il liquido diminuire di velocità nella prima, aumentare nella seconda, perchè si verifichi la *legge di continuità*, cioè che per ogni sezione in un dato tempo passi un'egual quantità di liquido. Si consideri, ad esempio (fig. 83), un tubo composto di tre parti di sezioni diverse e congiunte l'una coll'altra. Nel punto di congiunzione di una parte stretta OA con una più larga AB avrà luogo un'istantanea diminuzione di velocità; ed al contrario si verificherà un subitaneo aumento di velocità nel punto di congiuntura di una parte larga AB con una stretta BC. Viceversa la pressione laterale aumenta dove scema la velocità, e diminuisce dove la velocità cresce; perchè siccome le forze non si creano e non si distruggono, ma solo si trasmutano le une nell'altre; così la parte di velocità, che diminuisce, non si annulla, ma si trasmuta in pressione laterale, e quando la velocità aumenta, non proviene dal nulla, ma l'aumento nasce dalla pressione laterale, che in parte si converte in velocità. Tutto ciò, che ora si è detto, trovasi indicato in figura. Sia OR l'altezza della resistenza all'origine del tubo, ed R*h* quello della velocità dell'efflusso: l'andamento della pressione laterale nel tubo OA sarà rappresentato dalla retta RR', e la velocità dalla *hh'* parallela alla prima. Nel punto A la velocità diminuisce in un subito di una quantità corrispondente all'altezza R'*a* e di altrettanto aumenta la pressione laterale, divenendo corrispondente all'altezza A*a*. Poscia nel tubo

AB la pressione segue un andamento espresso dalla retta ab, e la velocità si mantiene costante ed è indicata dalla retta $h'h''$ parallela alla linea di pressione. In fine in B la velocità aumenta di una quantità che corrisponde all'altezza bR'' e la pressione diminuisce nel medesimo rapporto. Nel tubo BC la linea di pressione è rappresentata dalla retta R''C, e quella della velocità dalla parallela $h''h'''$. Si scorge dalla figura, che nel tubo di maggiore diametro la linea della pressione è meno convergente col tubo di quello che sia nel tratto corrispondente al tubo di minor calibro, e ciò perchè dove è minore la velocità, ivi è minore l'attrito. Da questo proviene, che i rigonfiamenti nei tubi diminuiscono la resistenza totale, cioè fanno diminuire l'altezza OR, e per conseguenza aumentare l'altezza hR, ossia la velocità totale, e per ciò anche la portata.

117. Efflusso per tubi piegati ad angolo. — Noi dicemmo (115) che in un tubo di diametro costante la pressione laterale decresce in un modo uniforme dall'estremo in cui entra il liquido a quello dal quale esce. Questo però si verifica quando il tubo sia retto: ma diversa è la cosa, se esso si piega ad angolo. Sia ABC (fig. 84) un tubo piegato nel punto B: si conduca la linea ABD, che esprima la lunghezza totale del tubo, corrispondendo la parte BD al ramo piegato BC. Allorchè il liquido che scorre per il tubo, va ad urtare nella parete opposta del gomito, ne riceve un urto in senso contrario capace a fermare una parte di esso liquido, e sarà come ivi si ristringesse la sezione del tubo: quindi per la legge di continuità (116) la parte del liquido che non si ferma dovrà scorrere con velocità maggiore, il quale aumento di velocità sarà accompagnato da decremento di pressione laterale. Immaginiamo elevate dai diversi punti della retta AD ordinate proporzionali alla pressione laterale; congiungendo con una linea le sommità di esse, la detta linea sarà la poligona abcD, la quale ci dà l'andamento dei decrementi subiti dalla pressione laterale, la quale, se il tubo fosse retto, sarebbe espressa dalla retta Da'. Si vede adunque, che all'origine del tubo l'altezza della resistenza è di aa' più grande di quella che avrebbe luogo se fosse retto il tubo e della medesima lunghezza e dimensione. Quest'eccesso di pressione laterale corrisponde alla resistenza, che ha luogo nell'ingorgo del liquido. Si vede inoltre, che nel tratto dove avviene l'ingorgo da b in c la pressione va scemando rapidamente, ma passato il gomito, riprende lo stesso andamento decrescente, che aveva nella prima parte del tubo. Dall'assieme della linea pur conosciamo, che la presenza del gomito aumenta la pressione laterale fino al livello di esso, ma che da questo punto poi la pressione è eguale a quella che avrebbe se il tubo fosse retto. L'altezza della velocità per tutti i punti del tubo è limitata dalla poligona $pqrs$, la quale c'insegna, che la velocità è costante fino in b, va poi crescendo fino a q, che corrisponde circa alla metà dell'estensione dell'ingorgo, a motivo del ristringimento della vena fluida, ed in fine va a riprendere il primitivo valore.

118. Efflusso per un sistema di tubi ramificati. — Invece di effettuarsi il flusso per un unico tubo, può aver luogo in un tubo, che poi in più d'uno si ramifica. In tal caso in ciascun

punto di ramificazione si ha un cambiamento più o meno considerevole di direzione del tubo primitivo, e da qui un aumento di velocità: in questi punti per lo più si ha che la somma delle sezioni dei rami sia maggiore della sezione del tronco da cui partono; e da qui una diminuzione di velocità. A noi interessa considerare un caso particolare, perchè ha relazione col sistema vascolare dell'organismo animale, e tal caso è quello di un tubo che si ramifica con spesse biforcazioni in un numero più o meno grande di branche, la somma delle cui sezioni è maggiore del calibro del tronco primitivo, e le quali si vanno poi a riunire in un altro unico tubo di diametro presso a poco eguale a quello del primo. La figura 85 rappresenta il caso più semplice di questo genere: I° è la sezione verticale, e II° la proiezione orizontale di questo sistema; e la linea spezzata RR'R''R'''R''''R'''''E indica le variazioni della pressione. Nel punto di biforcazione B, perchè si aumenta il calibro del tubo, si dovrebbe avere una diminuzione di velocità, e quindi un aumento subitaneo di pressione (116); ma per il cambiamento di direzione dovrebbe esserci un aumento di velocità e per conseguenza un decremento di pressione (117). Uno di questi due effetti contrarii può essere superiore all'altro, ma si possono anche compensare, ed allora la linea delle pressioni non farà altro che cambiare di direzione nel punto R'' deviando meno dalla orizontale, perchè per la minore velocità, con cui il liquido percorre la parte ramificata, vi è minor consumo di forza nel vincere l'attrito. Nel punto D riunendosi i rami in un sol tubo, vi è ristringimento di sezione, hanno luogo flessioni angolari, e quindi si verifica una duplice causa di aumento di velocità e corrispondentemente di diminuzione di pressione. Siccome adunque le due cause di variazione di pressione laterale, che nel punto B erano contrarie tra di loro, nel punto D cospirano assieme; così in quest'ultimo punto vediamo di molto abbassarsi la linea delle pressioni. Dall'esposto risulta, che in un sistema di tubi ramificati disposti simmetricamente non vi è simmetria nella variazione delle pressioni, poichè nel punto di mezzo C della lunghezza del sistema la pressione è maggiore della media di quelle, che si esercitano nei due punti A, E collocati ad egual distanza da C. In quanto poi all'altezza della pressione all'origine O del tubo ramificato diciamo, che dovrebbe essere maggiore a motivo dei ripiegamenti, mentre per l'aumento di sezione dovrebbe essere minore di quello, che si verifica in un tubo unico e retto; onde secondo i varii casi può essere, che quella sia identica a questa, o che riesca più grande, ovvero più piccola.

119. Efflusso per tubi capillari. — Poiseville ha studiato lo scolo dei liquidi nei tubi capillari per mezzo del seguente apparato. Alla parte inferiore di un vaso V a forma di fuso (fig. 86) è saldato un tubo di vetro congiunto ad un'ampolla A, la quale è seguita da un tubo di vetro ricurvo *cf*, a cui si annette un tubetto capillare *fg* disposto orizontalmente. Al disopra ed al disotto dell'ampolla sono notati due segni *b*, *c*: e la capacità compresa tra questi due limiti si deve misurare. Ciò si ottiene col pesare il volume di mercurio, che è capace di empirla, dividendo poi tal peso per grammi 13,6: il quoto dà la capacità in centimetri cubi. Il

vaso V nella sua parte superiore è messo in comunicazione per mezzo di un tubo, che si divide in più rami, con un recipiente in cui vi è aria compressa, o con una tromba premente, e con un manometro (184) che serve a misurare la pressione. Per mezzo di tali comunicazioni potremo fare quella pressione che vogliamo sul liquido contenuto nel vaso. Si tiene l'estremo del tubo capillare immerso in un recipiente pieno di acqua, ed allorchè si vuole incominciare l'esperimento, girando una chiavetta, si mette V in comunicazione col recipiente ad aria compressa, e la pressione determinerà lo scolo. Nel momento preciso, in cui il liquido ha la superficie di livello in *b*, si nota il tempo, e questo si nota ancora allorchè il livello suddetto è disceso nel punto *c*. Un cannocchiale orizontale, che può innalzarsi ed abbassarsi, serve per veder bene la coincidenza della superficie di livello coi detti punti *b*, *c*. In tal modo sapremo quanto liquido è effluito dal tubo capillare, la cui sezione deve essere ben conosciuta, in quel dato tempo. Con quest'apparato Poiseville ha determinate le seguenti leggi relative allo scolo dei liquidi a traverso di tubi di diametro minore di un millimetro.

1° Mentre nei tubi non capillari sotto eguali pressioni le portate sono proporzionali alle sezioni degli orifizii, e quindi, se questi sono circolari, ai quadrati dei diametri; nei tubi capillari sono proporzionali alle quarte potenze dei diametri, purchè i tubi siano di eguale lunghezza, ed il liquido ad una medesima temperatura.

2° I volumi dei liquidi, che sgorgano nell'unità di tempo da tubi capillari di egual diametro, ma di lunghezza diversa, variano nella ragione inversa delle lunghezze dei tubi;

3° Avendo Poiseville fatto effluire per un medesimo tubo capillare differenti liquidi sotto una medesima pressione, ha veduto che non tutti effluivano con una medesima velocità.

Ecco i risultati da lui ottenuti nell'efflusso di eguali volumi di differenti liquidi:

Sostanze	*Tempo dell' efflusso in secondi*
Acqua distillata	535,2
Etere ordinario	160,5
Alcool ad 8°	1184,5
Siero di sangue di bue	1029,0
Siero con un centesimo di alcool	1223,4
Siero con due centesimi di ammoniaca	981,6.

Si vede da questa tavola, che l'etere scola più facilmente dell'acqua, e l'alcool ed il siero più lentamente. È poi cosa degna di osservazione, che l'alcool aggiunto al siero ne rallenta lo scolo; il che prova, la presenza dell'alcool nel sangue rendere più lenti e difficili i movimenti di questo; il qual effetto può essere neutralizzato dall'ammoniaca, poichè essa accelera i movimenti del siero. Ha finalmente osservato Poiseville che alcuni sali, come il joduro ed azotato di potassa, facilitano lo scolo dell'acqua, mentre altri, come il cloruro ed il solfato di soda, lo ritardano.

CAPO IV.

MOTO ONDULATORIO DEI LIQUIDI

120. Formazione dell'onde liquide. — I movimenti di traslazione dei liquidi spesso sono accompagnati da un moto ondulatorio, e ciò specialmente avviene, allorchè i liquidi scorrono in tubi elastici. Dovendo quindi noi occuparci nel capo seguente del moto dei liquidi nei tubi elastici; ci è necessario trattare nel presente del detto moto ondulatorio, che può nei liquidi aver luogo. Se in qualche punto della superficie di un liquido, che sta in riposo perfetto, si turbi l'equilibrio, sia col gettarvi un corpo solido, sia col togliere una parte di liquido, o coll'aggiungercene una nuova quantità; tosto vi si vedono apparire delle onde. Ad esempio si getti una pietra sulla superficie dell'acqua stagnante: il punto, ove cade la pietra, diventa l'origine di un'onda circolare, che si propaga intorno intorno, allontanandosi dal punto di partenza. Via via che si avanza quest'onda si va indebolendo ed infine si estingue. Nel caso di cui parliamo intorno al punto, in cui si è turbato l'equilibrio, una zona liquida si solleva al disopra del livello primitivo, e forma un'onda saliente o monte (74) e quindi ricade e si affonda sotto al naturale livello, e va a formare un'onda rientrante o valle, ed in questo mentre la zona circolare successiva forma un'onda saliente, e così di seguito. Quando al contrario si rompa l'equilibrio per una sottrazione di liquido, ad esempio quando questo si aspiri per mezzo d'un tubo, la zona circondante il punto d'aspirazione comincia dal formare una valle, poi ascende per formare un monte, ed intanto la zona successiva da origine ad una valle, e così via via. Si vede da ciò, esservi differenza nel propagarsi dell'onda secondo che questa nasce da una *propulsione*, o da un'*aspirazione;* poichè nel primo caso si propaga coll'avere in capo un monte, nel secondo procede avendo alla testa una valle; si avrà cioè nel primo caso un'onda positiva, ed una negativa nel secondo (74). Non ha poi mai luogo un'onda sola, poichè le molecole disturbate dalla loro posizione d'equilibrio seguitano per qualche tempo ad oscilare intorno al punto di loro naturale posizione, e con ciò danno luogo ad una serie di onde alternativamente salienti e rientranti, che si propagano nella stessa maniera della prima. Intanto il moto delle molecole diminuisce sempre più, e poi svanisce del tutto. La produzione del moto vibratorio del liquido si spiega bene coi principii dell'equilibrio dei liquidi. Difatti quando il solido, cadendo dall'alto, batte sull'acqua,

ha una certa quantità di moto (20), colla quale scaccia ed affonda le molecole del fluido, in cui s'incontra. Questo spostamento di molecole fa sì che le vicine si debbano intorno innalzare sopra all'ordinario livello; ma non possono restare così sollevate, perchè la superficie di un liquido deve essere orizzontale, onde sussista l'equilibrio. Ricadono adunque, e nel ricadere acquistano una velocità, per la quale giunte alla posizione primiera, l'oltrepassano, affondandosi, e così dovranno produrre sulle molecole della zona successiva il medesimo effetto che su di esse ha prodotto la pietra, la quale ha rotto l'equilibrio. Il consimile avviene se l'onda è negativa.

121. Trajettorie delle molecole del liquido nei movimenti ondulatorii. — Le molecole del liquido durante il moto ondulatorio non oscillano in una linea retta, ma percorrono un'orbita, la quale si determina nel seguente modo. Sia presa di mira una molecola, che trovasi nel punto, ove incomincierà un'onda saliente: essa, com'è chiaro, si muoverà nel senso in cui si muove l'onda della quale fa parte: quindi è, che dovrà incominciare collo spostarsi in avanti ed in alto, poi seguiterà a muoversi in avanti, ma in basso mentre l'onda si abbassa; cosicchè la freccia A (fig. 87) rappresenterà la parte d'orbita percorsa dalla molecola nella durata dell'onda saliente. Mentre dura l'onda rientrante, la detta molecola torna indietro ed in basso, finchè l'onda seguita ad abbassarsi; prosegue ad andare in dietro, ma verso l'alto, mentre l'onda va a ritornare al naturale equilibrio: questa seconda parte della trajettoria è indicata dalla freccia B. Riunendo insieme le due mezze trajettorie, avremo la trajettoria intera espressa da C, percorsa dalla molecola durante un'intera ondulazione costituita da un monte e da una valle di eguale altezza. Si vede che in tal caso la molecola dopo un'intera ondulazione è tornata alla primitiva posizione, e che per ciò la propagazione dell'onda è indipendente dalla progressione del liquido, in modo che vi può essere comunicazione di moto da zona a zona senza che vi sia trasporto di materia. Ciò si può verificare col porre un galleggiante sull'acqua oscillante: si vedrà il galleggiante muoversi dal basso in alto e dall'alto in basso senza che sia trasportato nella direzione in cui si propaga l'onda od in senso contrario.

Come dai movimenti delle diverse molecole nelle loro orbite nasca il propagarsi dell'onda si può dimostrare graficamente. Supponiamo per maggior semplicità, che le orbite delle molecole siano perfettamente circolari e che i nove cerchi i quali veggonsi in figura (fig. 88), siano le orbite delle molecole $a, b, c, d, e, f, g, h, i$. Si divide ciascun'orbita in 6 parti eguali numerate come scorgesi nella figura. Si trovino le molecole in quella parte della rispettiva trajettoria, che è indicata con 1: si avrà il monte a A g colla sommità in A. Le molecole seguiteranno a muoversi tutte percorrendo in egual tempo eguali parti delle loro orbite, cosicchè nell'istante successivo si troveranno tutte nelle parti notate col numero 2, e quindi nelle parti indicate con 3 ecc. Conducendo delle linee, che passino per tutti i punti 2 e per tutti i punti 3, si otteranno le curve b B h, c C i, che mostreranno la posizione progressiva, che ha presa l'onda

saliente A. Allorchè le molecole avranno presa la posizione 4, dove prima si aveva un monte si avrà una valle; ed in fine il medesimo punto A sarà la sede di un altro monte quando le molecole dopo di aver percorsa tutta la loro orbita saranno tornate alla posizione 1. Queste ondulazioni liquide, in cui le molecole percorrono trajettorie rientranti corrispondono alle vibrazioni stazionarie (80). Le suddette orbite non sono sempre circolari come le abbiamo supposte, ma per lo più sono ellittiche coll'asse maggiore orizontale. Le molecole poste alla superficie sono quelle, che percorrono orbite le quali più s'avvicinano alle circolari. Più sono gli strati al disotto della superficie di livello, più si abbrevia l'asse verticale dell'ellisse finchè si giungerà ad uno strato in cui l'asse verticale è zero; ed in questo caso le molecole avranno un movimento di va e vieni in una linea orizzontale. Mescolando all'acqua versata in un vaso di vetro una polvere di peso specifico eguale a quello dell'acqna stessa, ed eccitato il moto ondulatorio, il movimento dei polviscoli rende visibili le orbite di cui si è parlato.

122. Onde con direzione diretta o retrograda delle molecole. — Abbiamo fino ad ora ammesso che la lunghezza dell'onda saliente sia eguale a quella dell'onda rientrante. Ma spesso non ha luogo tale eguaglianza, essendo più lunga o la prima o la seconda. Nel primo caso mentre l'onda saliente ascende e ridiscende, una molecola *a* (fig. 89) avrà percorso lo spazio *ab* (A), ed allorchè ha luogo la formazione della valle, la suddetta molecola percorrerà lo spazio *bc* minore del primo. Si vede, che la trajettoria non rimane chiusa, e che la molecola non è tornata alla posizione primiera, ma si è avanzata per un tratto *ac*. Se la medesima molecola prende parte ad altre ondulazioni successive, essa si avanzerà sempre di più, e dopo alcune onde si troverà spostata da *a* in *f* (B). Che se al contrario la lunghezza della valle sia maggiore di quella del monte la molecola *a* (A'), durante l'onda saliente, percorrerà lo spazio *ab* minore dello spazio *bc*, che essa trascorrerà tornando indietro durante l'onda rientrante: la trajettoria non sarà chiusa, e la molecola si troverà trasportata indietro per un tratto *ac*, e dopo un dato numero di onde successive per un tratto *af* (B'). Conchiudiamo pertanto, che ogniqualvolta nel moto ondulatorio di un liquido non vi è eguaglianza di lunghezza dei monti e delle valli, vi è traslazione delle molecole oscillanti, e questo movimento di traslazione è *diretto*, ossia nella direzione in cui l'onda si propaga, quando la lunghezza del monte eccede quello della valle, e viceversa è *indiretto* o *retrogrado*, cioè in senso contrario a a quello secondo cui si propaga l'onda, quando la valle sia più ampia del monte. Facendo nella superficie dell'acqua stagnante cadere successivamente delle pietre, daremo origine ad un sistema d'onde: e più frequente sarà la caduta dei corpi pesanti, tanto più lunghi saranno i monti in confronto delle valli; cosicchè crescendo sempre più la frequenza dei colpi, si arriverà in un punto, in cui le valli svaniranno del tutto, ed allora le molecole del liquido descriveranno la curva espressa da A (fig. 90). Ma se invece per mezzo di un tubo verrà di tratto in tratto ad aspirarsi un liquido; nella superficie di questo si genererà un sistema di onde negative,

e quanto più frequenti saranno le aspirazioni, tanto più brevi saranno i monti, i quali potranno infine svanire del tutto, percorrendo le molecole una curva espressa da B.

CAPO V.

FLUSSO DEI LIQUIDI PER TUBI ELASTICI

123. Influenza dell'elasticità dei tubi nell'efflusso dei liquidi. — I casi d'effiusso considerati nel Capo III° avevano luogo in tubi rigidi a pareti inestensibili e vedemmo che in essi il moto delle molecole del liquido era in generale rettilineo. Ora la cosa procede ben diversamente quando trattasi di tubi, che avendo le pareti elastiche, permettono alle molecole del liquido, il quale scorre pei medesimi, di spostarsi dalla linea retta. In questo caso il liquido può avere contemporaneamente un movimento di progressione ed un moto ondulatorio. Perchè però questo avvenga è necessario, che la forza motrice spinga il liquido intermittentemente; imperocchè se essa forza fosse continua, le pareti del tubo si distenderebbero da un capo all'altro tanto che la forza elastica faccia equilibrio alla pressione laterale (115); dopo di che il tubo si comporterebbe come fosse rigido. Si ammetta pertanto che la forza motrice agisca ad impulsi e ad intervalli regolari, e che la quantità di liquido, la quale ad ogni impulso entra nel tubo elastico, sia eguale a quella, che contemporaneamente ne esce, in modo che invariabile sia la massa liquida, che trovasi nel tubo. C'interessa di considerar bene questo caso, perchè è consimile a quello che verificasi nella circolazione del sangue (127). Ciò posto, rammentiamoci, che un corpo elastico (10) reagisce contro qualunque forza tendente a difformarlo, e che per questa reazione eguale e di direzione contraria alla forza difformante, il corpo va a riprendere la forma primiera tosto che cessa la forza avversaria. Se adunque entro ad un tubo elastico già pieno di liquido se ne spinga un'altra quantità, la parte del tubo, ove penetra quest'onda liquida si dilata, ma nel medesimo tempo la parte che si è dilatata esercita sul suo contenuto una pressione proporzionata alla distensione subita, e questa pressione fa camminare l'onda liquida nella parte attigua del tubo, la quale a sua volta si distende, mentre la prima parte ritorna al suo naturale diametro. Nel medesimo modo segue l'onda a propagarsi all'altra parte del tubo, fino all'estremo di questo. Se il detto

estremo fosse chiuso, l'onda si rifletterebbe e tornerebbe indietro nella medesima direzione, dalla quale è venuto (77), ed il tubo sarebbe percorso alternativamente da un estremo all'altro da una onda, che andrebbe in ogni riflessione gradatamente ad indebolirsi, finchè l'equilibrio si sarà finalmente ristabilito, rimanendo il tubo un poco più disteso di prima. Ma nel caso, che a ciascun novello afflusso di liquido ne esca dal tubo una quantità eguale a quella che vi è entrata, il moto ondulatorio deve terminare all'estremo del tubo senza riflettersi; perchè in questo punto la spinta dell'onda liquida, anzi che stendere le pareti del tubo, scaccerà da questo il liquido eccedente, e quello che vi rimane resterà in riposo dopo passata l'onda, finchè un nuovo afflusso non determini un'onda novella.

124. Moto progressivo ed ondulatorio dei liquidi nei tubi elastici. — L'estensibilità delle pareti del tubo, in cui scorre il liquido, esercita una grande influenza nella velocità dell'efflusso, rallentando la corrente. Invero, se il tubo fosse rigido, il liquido contenuto potrebbe considerarsi come un corpo solido, in guisa che nell'istante stesso, in cui entra nel tubo una nuova quantità di liquido, la colonna fluida preesistente nel tubo dovrebbe avanzarsi tutta in un colpo, e dall'altro estremo dovrebbe escirne un volume eguale a quello che vi affluisce: terminato l'afflusso dovrebbe pur terminare lo scolo, che per conseguenza sarebbe intermittente. Durando adunque l'efflusso, quanto dura l'afflusso, dovremo dire che la velocità, con cui scola quella data quantità di liquido, è ben grande, e che quindi ben grande è l'attrito, che subisce il liquido nello sfregare le pareti del tubo (115). Che se al contrario il tubo è elastico, lo scolo d'una quantità di liquido eguale a quella che vi penetra non si effettua in un tempo tanto breve. In realtà per quanto siano estensibili le pareti d'un tubo, non lo saranno mai perfettamente, perchè non trovasi un corpo perfettamente elastico (10). La spinta del liquido adunque, che entra nel tubo, non tutta si spende nel dilatare le pareti di quella prima parte di esso tubo; ma una parte di detta spinta fa progredire la colonna liquida preesistente nella direzione dell'asse del tubo; onde una parte del fluido principierà a versarsi. Quando tale efflusso sta per cessare, la prima parte del tubo trovasi al massimo di distensione, comincia a ristringersi, e spinge l'onda liquida nel tratto successivo: la spinta farà alquanto gonfiare questo secondo tratto, e parte di essa spinta farà avanzare la colonna fluida, seguitando a mantenere l'efflusso. Similmente avverrà in seguito. L'efflusso adunque sarà continuo per tutto il tempo, in cui l'onda percorre tutta la lunghezza del tubo, e quando essa sarà giunta all'estremo di questo, si sarà versato tanto liquido, quanto è quello, che coll'entrare ha prodotto l'onda.

Se nuove quantità di liquido ad intervalli eguali penetrano nel tubo elastico, una parte qualunque di questo subirà alternativamente dei rigonfiamenti e dei ristringimenti, avremo cioè dei monti e delle valli, che si propagano da un estremo all'altro. Questo moto ondulatorio deve per necessità trasmettersi al liquido contenuto, onde le molecole del fluido percorreranno traiettorie, le quali, se

l'estremo del tubo fosse chiuso sarebbero ellittiche e rientranti (121), ma che essendo aperto l'estremo del tubo, e dovendo per ciò il moto ondulatorio coesistere col traslatizio, saranno della forma della (A) (fig. 89). A misura poi che l'onda si avanza addiviene più piatta, e la parte della traiettoria che torna indietro si fa più breve, e finalmente l'onda svanisce affatto, ed allora le molecole si recano in avanti con moto rettilineo. È chiaro, che incominciando dal punto in cui finisce il moto ondulatorio e solo persevera il traslatizio, la velocità dello scolo addiviene uniforme, poichè la velocità non variava, che a motivo delle varie fasi dell'onde. È pure evidente, in un tubo elastico doversi produrre il moto ondulatorio ogni qual volta in un punto di esso la corrente liquida cambia di velocità. Difatti se in un punto bruscamente si aumenti la velocità, il tratto successivo del tubo, ricevendo maggior quantità di liquido, dovrà subire un rigonfiamento; che se invece la velocità viene in un subito a diminuire, il tratto successivo subir deve un ristringimento, perchè riceve una minor quantità di liquido.

125. Influenza dell'elasticità dei tubi sull'altezza e lunghezza dell'onda. — Quanto più estensibili ed elastiche sono le pareti del tubo, tanto più alte e tanto meno lunghe saranno le onde, che lo percorrono. E vaglia il vero: entrando una nuova quantità di liquido, le pareti assai elastiche vicine alla bocca d'ingresso si dilateranno assai, concedendo così una bastante capacità al liquido. La massa, che è entrata, trovando modo di spaziare in altezza, non spazierà in lunghezza; cioè l'onda sarà alta ma breve. Dovendosi poi essa rinnovare, per dir così, per ogni tratto del tubo, impiegherà tanto maggior tempo a percorrerlo, quanto più la medesima è breve, ossia quanto maggior numero di onde si contiene nella lunghezza del tubo. Rende adunque l'elasticità delle pareti più lenta la propagazione del moto ondulatorio. Viceversa se le pareti sono rigide, l'onda sarà bassissima e lunghissima, e si propagherà con velocità grande; che se il tubo fosse perfettissimamente inelastico, potrebbe dirsi, che all'affluire in esso di una nuova quantità di liquido, avrebbe luogo un'onda infinitamente bassa e lunga, che si propaga in un tempo infinitamente piccolo; il che è quanto dire, non aver più luogo il moto ondulatorio, ma un solo moto rettilineo. La dilatazione del tubo però non solo dipende dall'elasticità delle sue pareti, ma ancora dall'energia della pressione, che contro ad esse esercita il liquido. Ma noi abbiamo veduto (115) che la pressione laterale, essendo effetto della forza portata con sè dal liquido per vincere le successive resistenze, è massima al principio del tubo, e va poi diminuendo via via che vince le resistenze suddette: dunque le altezze dell'onde debbono andare sempre più diminuendo, in modo che si giungerà ben presto in un punto, in cui il moto ondulatorio rimarrà totalmente estinto.

126. Esperimento di Marey. — Marey per confrontare l'efflusso di un liquido per un tubo elastico con quello, che ha luogo in un altro rigido, ha fatto uso del seguente apparato (fig. 91). Un vaso di Mariotte (114) è munito di un rubinetto e di un tubo a due branche. Ad una di queste si fissa un lungo tubo di vetro V; all'altra coll'intermezzo d'un cannello di vetro contenente una valvola,

la quale si apre nel senso dello scolo, si annette un tubo di caucciu della medesima lunghezza di V. Questi due tubi disposti parallelamente terminano in due tubulature di egual diametro. Si apra e chiuda alternativamente il rubinetto. Ciascun afflusso produrrà nel tubo rigido un gettito intermittente, mentre l'elastico lo darà continuo, e le quantità di liquido sgorgate in un medesimo tempo dai due rami non saranno eguali; ma la dispensa effettuata per il cannello rigido V sarà minore di quella escita da C. Che se si tiene sempre aperto il rubinetto, sicchè l'afflusso sia costante, le due dispense riescono fra di loro eguali

CAPO VI.

PRINCIPII DI EMODINAMICA

127. Idea della circolazione del sangue. — *L'emodinamica* si occupa della circolazione del sangue. Prima di tutto è necessario, che ci formiamo una qualche idea di tale circolazione. Nell'organismo degli animali superiori, ed in particolare dell'uomo, trovasi un organo cavo di natura muscolare, che appellasi *cuore*, il quale nell'uomo ha due cavità separate fra di loro, ma poste una vicina all'altra, che si sogliono chiamare una *cuore sinistro*, l'altra *cuore destro*. Ciascuna di queste è suddivisa in due parti, una detta *orecchietta*, l'altra *ventricolo*, e che sono separate fra di loro per mezzo di una valvola. Quella che separa l'orecchietta destra dal relativo ventricolo dicesi *valvola tricuspide*, e *valvola mitrale* quella, che divide il ventricolo sinistro dalla sua orecchietta. Dal ventricolo sinistro parte un tubo elastico, che appellasi *aorta*, e che non tarda a dividersi in più tubi, i quali si vanno sempre più ramificando: questi rami sono le *arterie*, le quali suddividendosi sempre in maggior numero, fanno sì, che quanto più ci discostiamo dal cuore, tanto più vada crescendo il calibro totale dei vasi. Giunte l'arterie nell'intimo degli organi e dei tessuti, si riducono ad un'estrema sottigliezza, e si moltiplicano ed intrecciano in

guisa da formare quasi una rete, che dicesi *sistema capillare*. I tubi capillari con un andamento contrario a quello delle arterie si riuniscono successivamente fra di loro, e ne risulta un sistema di vasi, i quali diconsi *vene*, e che riunendosi sempre più insieme, mentre tornano verso il cuore, fanno pur diminuire il calibro totale. Tutte le vene, eccettuate quelle del cuore stesso, si riuniscono in due grossi tronchi venosi, i quali sono la *vena cava superiore*, e la *vena cava inferiore*, che vanno ambedue a terminare nell'orecchietta destra. Tale è il sistema della *grande circolazione o circolazione generale*. Oltre a questa vi è la *piccola circolazione*, o *circolazione polmonale*. Dal ventricolo destro parte un tubo elastico, che è l'*arteria polmonale*, e che diramandosi nel parenchima del polmone, forma un sistema simile a quello della grande circolazione, e che va a terminare nell'orecchietta sinistra. Le valvole, che separano i ventricoli dalle orecchiette, permettono una comunicazione fra le dette cavità; onde il circuito è completo, ed è diviso per mezzo del cuore in due parti di disuguale lunghezza. L'origine dell'aorta e quello dell'arteria polmonale sono ambedue fornite di un sistema di tre valvole dette valvole *sigmoidi*, che in tempo debito intercettano la comunicazione tra i ventricoli e le arterie. Tutto il suddetto sistema vascolare è pieno d'un liquido appellato *sangue*, che tiene in sospensione dei corpuscoli solidi chiamati *globuli sanguigni*. La (fig. 92) rappresenta in un modo schematico le principali disposizioni dell'organo della circolazione presso l'uomo ed i mammiferi. I ventricoli sono espressi da *v*, *v*, le orecchiette da *o*, *o*, il sistema arterioso della grande circolazione da *a*, *a*. C è il sistema capillare generale, e *v e* è il sistema venoso della grande circolazione. Il sistema arterioso della piccola circolazione è indicato da *ap*, da P il sistema capillare, e da *vp* il sistema venoso polmonale.

Dopo la scoperta di Harvey, insegnano i fisiologi, che contraendosi periodicamente il cuore in virtù della sua natura muscolare, agisce come una tromba premente (197) sopra al sangue, e lo pone in circolazione per tutto il sistema vascolare, venendo la direzione della corrente determinata dall'azione delle valvole. In vero sono queste così disposte, che quando il cuore si contrae, ossia nelle *sistole* dei ventricoli le valvole auricolo-ventricolari si chiudono, ed intanto si aprono le sigmoidi, onde il sangue è costretto a gettarsi nelle arterie. Allorchè poi cessa la contrazione dei ventricoli, ossia nella *diastole*, la disuguaglianza delle pressioni sanguigne, che hanno luogo nell'interno del ventricolo e nell'interno dell'orecchietta, disuguaglianza, che è aumentata dalla contrazione dell'orecchietta stessa, obbliga la valvola auricolo-ventricolare ad aprirsi, mentre si chiudono le valvole sigmoidi: ed ecco interrotta la comunicazione tra le arterie ed i ventricoli, ed aperta quella dei ventricoli coll'orecchiette, e per ciò il sangue da queste passa in quelli. Dopo la diastole ricomincia la sistole, e così di seguito. Le contrazioni dei due ventricoli sono contemporanee, ed avvengono immediatamente dopo quelle dell'orecchiette. Ecco poi il cammino che fa un globulo di sangue: parte esso dal ventricolo sinistro del cuore, passa per l'aorta e per le arterie, attraversa il sistema

capillare, e quindi per le vene va a terminare nel ventricolo destro, compiendo così la circolazione generale. Dal ventricolo destro è di poi spinto nell'arteria polmonale, passa per il sistema capillare, in cui questa si divide, e quindi torna al ventricolo sinistro, da cui era partita, dopo di avere in tal modo compiuta anche la piccola circolazione.

128. Pressione del sangue sui vasi e sua velocità. — Volkmann è stato il primo ad applicare alla circolazione del sangue i principii d'idrodinamica, verificandoli con esperimenti. Qualunque sia la forza, che spinge un liquido a scorrere per un sistema di tubi, sempre può questa forza esprimersi per l'altezza H di una colonna liquida, che suole chiamarsi *carica*. Nell'apparato della circolazione è il cuore, che per la contrazione dei suoi ventricoli, sviluppa una pressione idrostatica equivalente alla detta altezza H. Abbiamo poi veduto (115) che, trascurando la resistenza al passaggio, l'altezza H va divisa in due parti, una delle quali è l'altezza della velocità, ed è quella che determina la velocità, con cui il sangue esce dai ventricoli; l'altra poi è l'altezza della resistenza la quale rappresenta la pressione laterale, o come dicono i fisiologi la *tensione sanguigna*, che ha luogo nell'origine dell'aorta e dell'arteria polmonale. Il valore di questa pressione laterale misura la resistenza, la quale il sangue ha da vincere in tutto il corso sia della grande o della piccola circolazione: e siccome quanto più il sangue si allontana dal cuore, tanta più forza motrice si è consumata nel vincere le precedenti resistenze; è così che anche la pressione laterale ha dovuto tanto più scemare. Cogli apparati, che descriveremo in appresso, si è sperimentata la pressione subìta dai vasi sanguigni. Ecco alcuni risultati, in cui la pressione è espressa in centimetri di colonna di mercurio.

Carotide d'un vitello	centimetri	16,5
Arteria metatarsica d'un vitello. .	»	14,6
Vena facciale d'una capra . . .	»	4,1
Vena jugulare d'una capra . . .	»	1,8

Gli esperimenti sono stati eseguiti sui bruti; ma si è veduto, che si hanno gli stessi valori qualunque sia la grandezza e la forma degli animali; il che mostra non dipendere la tensione sanguigna dalla detta grandezza e forma, ma dal rapporto presso a poco costante che passa tra la forza di contrazione del cuore ed il calibro dell'origine dell'aorta. Si potranno adunque logicamente attribuire anche all'uomo quei valori, che si sono ottenuti colle esperienze effettuate cogli altri mammiferi. Si ammette pertanto in fisiologia, che nell'uomo la media tensione del sangue all'origine del sistema arterioso sia corrispondente a circa 15 centim. di una colonna di mercurio che equivale ad una colonna di sangue di 2 metri di altezza. Al termine poi del sistema venoso presso al cuore si ammette che la tensione non sia più di 2 centim. di mercurio.

Abbiamo detto nel passato numero, che il calibro del sistema vascolare è minimo all'origine dell'aorta, e che va poi sempre più crescendo col diramarsi delle arterie, e giunge al massimo nel principio del sistema capillare; terminato il quale, torna ad im-

piccolire, e ridiviene minimo nel punto del sistema venoso più vicino al cuore. Ma sappiamo (116), che per la legge di continuità ove il diametro di un tubo cresce, ivi deve diminuire la velocità del liquido, che scorre per esso: dunque è da dirsi, che la velocità del flusso sanguigno deve diminuire nel sistema arterioso dal ventricolo ai capillari, e deve aumentare nel sistema venoso dai capillari all'orecchietta, senza che la velocità possa mai nei grossi tronchi venosi tornare ad essere eguale a quella, che ha luogo nei grossi tronchi arteriosi, perchè il calibro totale dei vasi, che riconducono il sangue al cuore è sempre maggiore di quello dell'arterie che portano questo liquido ai capillari. Per mezzo degli apparecchi, che si descriveranno di qui a poco, si è sperimentata la velocità del sangue nelle varie parti del sistema vascolare, e si è potuta verificare la legge, che la velocità del sangue nelle arterie diminuisce via via che questo si allontana dal cuore, si mantiene presso a poco costante nei capillari, ed aumenta nel sistema venoso a misura, che si allontana dai capillari. Si verifica relativamente alla velocità ciò, che notammo riguardo alla pressione, cioè che la velocità del sangue è eguale in tutti i grandi mammiferi, e che per conseguenza quello che si è sperimentato in detti bruti, può asserirsi anche dell'uomo. Si ammettono pertanto nell'uomo le velocità medie seguenti:

Arteria carotide . . .	25	centimetri per secondo
Arteria facciale . . .	16	»
Capillari	da 0,05 a 0,1	»
Vena jugulare . . .	22	»

Chaveau, Bertolus e Laroyenne hanno trovato, che al momento della sistole ventricolare la velocità del sangue nelle grosse arterie vicine al cuore è di 52 centimetri per secondo (*).

(*) Se vogliasi conoscere qual tempo sia necessario perchè il sangue compia l'intera circolazione si può ottenere l'intento con due metodi, il primo dei quali è dovuto ad Hering. S'inietti una soluzione di ferro-cianuro potassico in una vena, per esempio nella jugulare destra, e si raccolga il sangue dalla vena omonima dell'altro lato ad intervalli di 5 in 5 secondi: prolungando l'esperimento per un minuto primo, si avranno 12 saggi di sangue. Fatto coagulare ciascuno di questi e trattatolo col cloruro di ferro, quel saggio, che prima di di ogni altro presentando la reazione azzurra dimostra la presenza del ferrocianuro potassico, ci fa conoscere la durata d'un intero giro, cioè il tempo impiegato dal sangue per passare dalla jugulare destra al cuore, ai polmoni, di nuovo al cuore, all'aorta..... fino alla jugulare sinistra. Con tal metodo Hering e Vierordt sono giunti ai seguenti risultati:

Nel Cavallo	minuti secondi da	25 a 30
Cane	»	15 a 17
Capra	»	13
Coniglio	»	8 a 10
Gatto	»	6 ½
Porco spino . . .	»	7 ½
Anitra	»	10 ½
Pollo	»	5
Uomo approssimativamente	»	23.

Il secondo metodo consiste nel calcolare la quantità di sangue, che espelle un ventricolo in ogni sistole, la quale quantità è eguale alla capacità di esso

Dovendo per la legge di continuità passare per le varie parti dell'organismo vascolare una eguale quantità di sangue, e per ciò dovendo essere la velocità del flusso in una data parte nella ragione inversa del calibro totale; ne consegue che la velocità della corrente sanguigna in un dato punto possa calcolarsi con tutta facilità, quando si conoscano il calibro totale dei vasi all'altezza del punto preso in considerazione, la velocità del sangue in un altro punto del sistema, ed il calibro totale relativo a quest'ultimo punto.

La suddetta legge di continuità importa ancora, che le vene in un dato tempo riconducano al cuore tanto sangue, quanto nel medesimo tempo ne parte per le arterie. Questo rapporto di eguaglianza tra la quantità di sangue, che entra e parte dal cuore, deve verificarsi tanto nella grande che nella piccola circolazione, e la quantità di sangue, che in un dato tempo passa per una sezione della circolazione generale, deve essere eguale a quella, che fluisce nel medesimo tempo in una sezione del sistema della circolazione polmonale. Adunque ciascuno dei quattro compartimenti del cuore (le due orecchiette ed i due ventricoli) riceve ed emette eguali quantità di sangue. Si noti ora che il numero delle ramificazioni è assai maggiore nella grande che nella piccola circolazione, e che l'esperienza insegna, due sistemi ramificati, i quali presentino la medesima differenza nel numero delle branche, sotto una medesima pressione non emettere eguali quantità di liquido, se non nel caso, che siano eguali i calibri totali, ed eguali pure le lunghezze; la qual cosa per nulla si verifica nei due sistemi di circolazione. Essendo minore la resistenza, che la corrente sanguigna incontra nella circolazione polmonale di quella che deve vincere nella generale, come lo mostra la pressione laterale, la quale è di 15 centimetri di mercurio nell'aorta e di 5 nell'arteria polmonale secondo gli sperimenti di Chaveau e Favre, e dovendo nondimeno essere le dispense eguali, si deve per necessità conchiudere, che la forza motrice è minore nella piccola che nella grande circolazione. Ciò viene comprovato dal fatto anatomico del poco sviluppo della massa muscolare del cuore destro in confronto di quella del cuore sinistro. Si deve inoltre ammettere, che la contrazione del ventricolo destro non sia completa, poichè la capacità di questa cavità è maggiore di quella del ventricolo sinistro. È

ventricolo, e quante sistoli si esigano per espellere tutto il sangue contenuto nel sistema vascolare; il che si raggiunge col dividere tutta la massa sanguigna per il peso espulso dal ventricolo in una sistole. Conoscendosi dal polso quanto tempo si esiga perchè si compia un tal numero di sistoli; sarà questo il tempo cercato. Ad esempio nell'uomo la capacità di un ventricolo si reputa eguale ad un quattrocentesimo del peso di tutto il corpo; cosicchè in un individuo del peso di 72 chilogrammi si può ammettere essere di 180 grammi la quantità espulsa da un ventricolo ad ogni sistole: tutta la massa sanguigna può ritenersi di chilogrammi 5,5. Dividendo questo secondo peso per il primo, sarà noto essere necessarie 30 sistoli, perchè tutta la massa del sangue attraversi un ventricolo. Ma un uomo adulto ha 70 battute di polso in ogni minuto primo; dunque ne compirà 30 in 26″: è questo il tempo richiesto per compiere una intera circolazione sanguigna. È chiaro che quanto più frequenti sono le pulsazioni cardiache, tanto minore sarà il detto tempo.

poi probabile che lo sviluppo delle due cavità cardiache si adatti nel periodo del loro crescere alle condizioni necessarie all'eguaglianza di dispensa nei due sistemi di circolazione, di maniera che la diversità delle due forze muscolari sarebbe un effetto della legge di continuità.

129. Emodinamometro di Poiseville. — Dobbiamo ora dire con quali apparati i fisiologi sono giunti a misurare la pressione laterale e la velocità del sangue nelle varie parti del sistema vascolare. Al terminare dello scorso secolo l'inglese Hales misurò per il primo la pressione laterale del sangue nel modo seguente. Mise a nudo un'arteria di un'animale, e fattovi un foro, introdusse in essa l'estremo di un alto tubo di vetro, che teneva in posizione verticale. Vide che il sangue si elevava nel tubo fino all'altezza di metri 2,44, la quale altezza veniva a misurare la tensione sanguigna. Questo metodo fu molto pefezionato da Poiseville, il quale ideò un apparato detto Emodinamometro, che è il seguente. Un tubo di vetro ricurvo a due rami paralleli ed ineguali (fig. 93) contiene del mercurio, il quale si eleva alla medesima altezza in ambedue i rami (93). Il ramo più corto è ripiegato orizzontalmente e termina in un tubo di piombo, che va a finire con una cannula metallica assai sottile. Una chiavetta può stabilire e togliere la comunicazione dei tubi verticali con quello orizzontale. Si comincia l'esperimento coll'empire di una soluzione concentrata di bicarbonato di soda la piccola branca, il tubo di piombo, e la cannula, e si osserva di quanto questo liquido faccia elevare il mercurio nell'altro ramo. Posta di poi a nudo un'arteria di un animale, si fanno due legature, una all'estremo dell'arteria collocata verso il centro, e l'altro all'estremo periferico, e quindi fatto un taglio in croce nel vaso sanguigno, s'introduce in questo per la detta apertura l'estremo della cannula. Sciolta la legatura centrale, il sangue penetra nella cannula e solleva il mercurio nel ramo aperto. La tensione sanguigna non è già misurata da tutta la colonna di mercurio, che ha per altezza la differenza dei due suoi livelli, ma bensì dalla differenza che passa tra questa colonna e quella che fa equilibrio alla colonna di bicarbonato di soda destinato a ritardare la coagulazione del sangue.

130. Manometro differenziale di Claudio Bernard. — Abbiamo noi detto (128) che la tensione sanguigna nelle arterie decresce quanto più queste si discostano dal cuore: per misurare tale differenza di pressione Claudio Bernard ha usato un'apparecchio, che dicesi *Manometro differenziale*, e che è così formato. Su di una tavola verticale AB (fig. 94) è adattato un tubo di vetro piegato ad U avente cioè due rami verticali. Alle due estremità superiori di questo sono congiunti con mastice due tubi metallici ricurvi ad angolo retto e muniti di chiavetta *r*. Si versa mercurio nel tubo di vetro, ed al disopra di questo in ciascun ramo si versa una soluzione satura di bicarbonato di soda. S'introduce in una arteria un tubo C di vetro in forma di T, il cui braccio orizzontale permette facilmente il corso del sangue, mentre la branca verticale comunica per mezzo d'un tubo di piombo coll'estremo *e* dell'apparato. Si fa il medesimo con un'altra arteria più periferica, ed

il tubo C' simile a C introdotto in questa si fa comunicare con *f*. Aprendosi i rubinetti *r*, si vede tosto elevarsi il mercurio dalla parte dell'arteria periferica: il che prova che in quest'ultimo punto la pressione laterale è minore. La differenza di pressione fra i due punti è notata dalla differenza di livello del mercurio nei due rami, la qual differenza è letta su di una scala graduata posta fra i detti due rami.

131. Chimografo di Ludwig. — L'emodinamometro di Poiseville (129) è difettoso, perchè nell'arterie la tensione è varia ed oscilla tra un massimo ed un minimo, onde la colonna mercuriale si deve elevare ed abbassare secondo le variazioni di pressione. Nè si puo dedurre la media pressione, prendendo la media altezza tra la massima e la minima; poichè tale media allora sarebbe giusta, quando l'ascesa e la discesa si effettuassero in tempi eguali; il che non avviene, ma l'ascesa si fa in minor tempo della discesa. A rimediare a questo difetto Ludwig ideò un altro apparato, che chiamasi *Chimografo* (fig. 95). Sul mercurio dell'emodinamometro situato verticalmente è posto un galleggiante formato di un tubo leggiero di vetro *f* terminante nella parte inferiore con un'ampolla la quale si ottiene fondendo un poco il tubo alla lampada. Un anello fissato nella parte superiore lascia passare e guida l'asta del galleggiante. A questa è congiunto per mezzo d'una pinzetta od un tubo capillare orizzontale pieno d'inchiostro *e*, che lascia traccia in un foglio di carta bianca, od una leggiera punta, che lascia traccia in una carta annerita col fumo. La carta è tesa in un cilindro verticale A, il quale fa un giro intorno al proprio asse in un minuto primo mosso da un congegno di orologeria B. Un filo di seta teso verticalmente obbliga la punta a toccare di continuo il cilindro. Se si fa comunicare un'arteria col mercurio dell'emodinamometro, il galleggiante s'innalza immediatamente, e la punta traccia nel cilindro una curva, che denota l'oscillazione della colonna mercuriale. I grandi denti mostrano le variazioni di pressione causate dai movimenti respiratorii, i piccoli sono dovuti alle contrazioni del cuore: questi ultimi indicano il numero delle pulsazioni, che hanno avuto luogo in un minuto primo (*).

(*) Facilmente si comprende la causa, per cui la contrazione cardiaca fa variare la tensione sanguigna, che aumenta nella sistole dei ventricoli, diminuisce nella diastole. Ma come è che i movimenti respiratorii influiscono nella pressione laterale del sangue? Non è la respirazione placida ordinaria quella che fa sensibilmente variare la tensione; ma questa cambia di molto per la respirazione forzata (664). Nell'atto d'una prolungata inspirazione la capacità toracica si dilata e tende a formare un vuoto, per il quale le cavità del cuore aumentano di capacità. Per tale aumento il cuore sinistro esercita una specie di succhiamento sul sangue arterioso della grande circolazione, ed il cuore destro un succhiamento del sangue venoso. Viceversa nella espirazione forzata si diminuisce la capacità toracica, rimangono compresse le cavità cardiache, onde il cuore sinistro esercita una maggior forza premente sul sangue arterioso, ed il sinistro comprime il venoso. L'azione premente che ha luogo nell'espirazione può aumentare nelle arterie la tensione sanguigna sino a 40 ed 80 millimetri di colonna mercuriale, mentre l'azione aspirante dell'inspirazione diminuisce notevolmente la pressione sulle arterie, e può ridurla a zero nelle vene. Da qui nasce la formazione dei grandi denti, che ne contengono molti dei piccoli.

132. Chimografo a forza elastica di Fick. — Un altro chimografo è stato ideato da Fick, ed è basato sulla proprietà dei tubi elastici formati con una sottile lamina di metallo; se uno di questi chiuso in un estremo venga curvato e poi empito di un liquido sul quale quindi si eserciti una pressione, questa per il principio di Pascal (86) sarà trasmessa tanto nella parete del tubo, che al di fuori è concava, quanto nella parete opposta convessa all'esterno; e mentre la pressione esercitata nella prima tende a fare curvare il tubo di più, quella esercitata nella seconda tende a dispiegarlo. Siccome poi quest'ultima supera l'altra, perchè i punti della superficie convessa al di fuori sono in maggior numero di quelli della concava, si dovrà conchiudere, che un aumento di pressione diminuisce la curvatura del tubo, la quale aumenta per l'elasticità del metallo quando la pressione interna diminuisce. Ciò posto, diciamo che il chimografo di Fick consiste (fig. 96) in un tubo metallico CB a pareti sottili ed elastiche, chiuso nel punto C, aperto in B e fisso con quest'ultimo punto ad un montante. L'estremo aperto B sta in comunicazione con il tubo A. Si empie il tubo BC di alcool, ed il tubo A di una soluzione di bicarbonato di soda, e s'introduce l'estremo di quest'ultimo in un'arteria. I movimenti dell'estremità libera del tubo CB sono assai piccoli nelle variazioni ordinarie della pressione del sangue per poter essere direttamente registrate sulla superficie di un cilindro girante. Era pertanto necessario ampliarle, il che Fick ha ottenuto per mezzo di un sistema di leve composte di aste leggerissime, e talmente disposto, che l'estremità D dell'ultima leva munita di punta descriva, movendosi, una verticale. Questo apparato però per dare il reale valore delle pressioni deve essere confrontato nelle sue indicazioni con quelle date da un manometro ad aria libera (184) (*). Ha poi questo chimografo un gran vantaggio sul precedente. Difatti nel chimografo a mercurio il galleggiante nel muoversi acquista una velocità sua propria, cosicchè esso non ista sempre a contatto del mercurio, ma nell'inalzarsi di questo si distacca dalla superficie libera del liquido, ed il suo inalzamento è esagerato: nell'abbassarsi del mercurio il galleggiante vi si immerge alquanto per la velocità, che cadendo acquista, onde anche l'abbassamento è esagerato. Ciò non avviene nel chimografo elastico, le cui parti sono tutte connesse fra di loro, cosicchè nessuna di esse può prendere una velocità indipendente dalla pressione del sangue. Fick ha messo il suo apparato e quello di Ludwig in comunicazione con una tromba ad aria, che ha fatto muovere 40 volte al minuto, mantenendo per un certo tempo il massimo ed il minimo di pressione, ed ha ottenuto curve diverse. La curva superiore della figura 97 esprime quella descritta dal chimografo elastico, l'inferiore quella tracciata dal chimografo a mercurio. Nella prima si scorgono dei tratti piani orizzontali indi-

(*) Quando si debba far uso del detto apparecchio, bisogna prima verificare, che le leve siano a dovere disposte, cosicchè la punta D nel distendersi del tubo descriva una verticale: deve badarsi ancora, che essa punta prema la carta affumicata la quale si avvolge intorno al cilindro girante, solo quanto basta a lasciar traccia in questa.

canti la durata delle pressioni massime e minime: l'altra curva poi a motivo della velocità acquistata dal galleggiante, per la quale seguita a muoversi quando la pressione è permanente, è formata a denti acuti, che per la mancanza dei tratti orizzontali non fanno conoscere la detta durata delle pressioni massime e minime.

133. Pressione media del sangue. — Ma come dalla curva descritta dal chimografo si può dedurre la pressione media del sangue? Volkmann ha risoluto questo problema nel seguente modo. Si svolge dal cilindro girevole il foglio di carta sul quale si tira una linea orizzontale *ab* (fig. 98) corrispondente alla pressione nulla, linea cioè che sarebbe descrita dalla punta del chimografo, quando su di esso non facesse pressione il sangue. Si prenda questa linea come asse delle ascisse, e s'inalzino ad una data distanza fra di loro due ordinate verticali *bd*, *ac*. Ognun vede, che la pressione media verrà espressa dalla media ordinata della curva *cd*, e che tale media ordinata deve essere l'altezza di un rettangolo avente per base *ab*, e la cui superficie sia eguale a quella della figura *abdc*. Dobbiamo adunque procurare di aver la misura di questa superficie. A tale scopo si disegna la figura *abdc* in un cartone di uniforme ertezza: quindi s'intaglia, e poi si pesa esattamente. Si pesa inoltre un centimetro quadrato formato collo stesso cartone: ed il quoto che si ottiene dividendo il primo peso per il secondo, esprimerà la superficie cercata in centimetri quadrati. Siccome poi la superficie di un rettangolo è data dal prodotto della sua base per l'altezza; chiamando con s la superficie nota della suddetta figura e con x l'altezza media, che si vuole conoscere, avrassi $x \times ab = s$ onde $x = \frac{s}{ab}$.

134. Emodromometro di Volkmann. — Descritti gli apparati, che servono a misurare la tensione sanguigna, passiamo a descriver quelli che si usano per conoscere la velocità, con cui il sangue percorre le varie parti del sistema vascolare. Volkmann a tale oggetto ha adoperato un apparecchio da lui appellato *emodromometro*. Ad un tubo metallico *ab* (fig. 99) corto e di un diametro interno eguale a quello dell'arteria su cui si vuole eseguire l'esperimento, è congiunto superiormente con mastice un tubo di vetro piegato ad U, il quale ha pure il medesimo diametro dell'arteria. A ciascun punto di congiunzione dei tubi si trova una chiavetta a tre aperture, con cui si può ottenere una comunicazione diretta dal punto *a* al punto *b* per il tubo corto, od una comunicazione tra i medesimi punti, ma per mezzo del tubo di vetro. Tutto l'apparato si empie d'acqua; e quando vuolsi fare l'esperimento, si scopre un'arteria, la quale si lega in due punti distanti fra di loro di alcuni centimetri, e s'introduce una cannula *c* da ciascuna parte del vaso sanguigno a circa un centimetro di distanza dalla relativa legatura. S'introduce ciascun estremo *a*, *b* dell'apparato nella cannula corrispondente, ed essendo i rubinetti nella disposizione indicata in M, si sciolgono le legature dell'arteria, ed allora il sangue scorrerà liberamente nel tubo *ab*. Allorchè la circolazione è bene ristabilita, si girano i rubinetti in senso tra loro inverso per mezzo di un macchinismo, che produce il loro

movimento simultaneo mediante un solo movimento di rotazione, facendo così ad essi prendere la disposizione N. Il sangue sarà obbligato a percorrere il tubo di vetro, e la colorazione rossa indicante la separazione del sangue dall'acqua permetterà di misurare il cammino da quello percorso. In tal modo si avranno gli elementi necessari per calcolare la velocità, con cui la corrente sanguigna percorre quella data arteria.

135. Emotacometro di Vierordt. — L'ora descritto istrumento è difettoso in quanto che introduce nella circolazione un lungo tubo con ripiegamenti, il che non può non indurre delle nuove resistenze. Ad avere quindi una più esatta misura della velocità del sangue ha Vierordt immaginato un altro apparecchio che egli appella *emotacometro*, e che consiste in una stretta cassa quadrilatera, di cui due pareti laterali sono di vetro. Questa cassa piena d'acqua porta nel suo interno un piccolo pendolo, ed è messa in comunicazione con due punti d'un arteria per mezzo di due boccagli come facevasi col precedente apparecchio. Il sangue attraverserà la cassa e farà deviare il pendolo, il quale sopra al centro di sospensione porta un'appendice d'argento, che essendo piegata orizzontalmente e poi verticalmente, ha quest' ultimo tratto vicino ad una delle pareti di cristallo della cassa, ed indica la deviazione in un quadrante graduato collocato sulla medesima parete. Dall'angolo i di deviazione si deduce la velocità v del sangue per mezzo della formola $v = k\sqrt{\text{tang.}\, i}$, in cui k è una costante, che si determina una volta per sempre in un dato emotacometro col far passar per questa un liquido di proprietà fisiche eguali a quelle del sangue con una nota velocità. Posta questa velocità invece di v nella formola, e postavi ancora la tangente dell'angolo i in questo caso indicato dal pendolo, basterà isolare k per averne il valore. Siccome la velocità della corrente sanguigua nelle arterie subisce le medesime variazioni, che hanno luogo nella pressione laterale, interessa di avere la velocità media la quale non può misurarsi coll' emotacometro, perchè il pendolo oscilla e non dà segni esatti se non della massima e della minima velocità. A rimediare ad un tale difetto Vierordt trasformò il suo apparato in un altro capace di registrare le varie velocità. Prolungò a tale uopo il pendolo dalla parte esterna della cassa facendolo terminare in una lancetta, che lascia traccia in un cilindro rotante simile a quello del chimografo di Ludwig.

136. Emodromografo di Chauveau e Lortet. — Consimile al descritto è l'*emodromografo* di Chauveau perfezionato da Lortet. La parte principale di questo è un tubo AB (fig. 100), che fassi comunicare coll'arteria come facevasi della cassa del precedente apparecchio, cosicchè il sangue sia costretto a scorrere entro di esso. Il tubo ha alla sua metà lateralmente una piccola apertura quadrangolare chiusa da una sottile membrana di caucciù ben tesa, nel mezzo della quale vi è una stretta fessura attraversata da un ago leggerissimo di alluminio $m\,n$, che nella parte interna è appianato, come meglio vedesi in O in cui dx rappresenta l'ago e f il suo estremo interno. È quest'ago che fa l'officio di pendolo. C è un cilindro girevole per mezzo di un macchinismo contenuto in D. Sopra una carta ravvolta in detto cilindro la punta n descrive una

curva, dalla quale si ricava la velocità media con metodo consimile a quello che si usa per avere la media pressione (133). È cosa manifesta, che con i detti apparati non si può fare esperimento, che sui grossi vasi. Che se si volesse studiare la velocità del sangue sui capillari, si dovrebbe ricorrere al microscopio. Si mette, ad esempio, sul campo di un microscopio dell'ingrandimento di 60 diametri (841) la membrana interdigitale di una rana in modo che si vedano una piccola arteria e parte della rete capillare. Per quanto sia piccola la velocità del sangue in quest'arteria lontanissima dal cuore, pure sembrerà grandissima in confronto di quella dei globoli che vanno l'uno dopo l'altro nei vasi capillari, il cui diametro è spesso di poco maggiore dell'asse minore dei globoli ellittici.

137. Effetto del cangiamento di dimensione nei vasi sanguigni. — Claudio Bernard ha dimostrato con un celebre esperimento l'influenza del sistema nervoso sulla dimensione dei vasi: si tagli in un coniglio un cordone cervicale del gran simpatico: tosto le arterie della medesima parte si dilatano, l'orecchia addiviene più calda e più rossa dell'altra: e ciò succede perchè colla recisione suddetta si è prodotta una paralisi delle fibre muscolari; onde è che i vasi sanguigni in esse contenuti, non essendo più dalle fibre medesime compressi, si dilatano, ricevono maggior quantità di sangue e per ciò più si riscaldano. Se al contrario si eccita coll'elettricità il nervo, i muscoli si contraggono, e comprimono i vasi, i quali subiscono una diminuzione di diametro; per il che le parti ricevono meno sangue del consueto.

138. Forza motrice, e lavoro meccanico del cuore. — Il cuore, come abbiamo detto, è quello che mette in circolazione il sangue: è utile pertanto conoscere come si possano calcolare la sua forza motrice ed il lavoro meccanico, che produce. La forza motrice o potenza è la forza che determina il moto dopo di aver vinta la resistenza, la qual forza, come abbiamo fatto fin qui, si esprime col peso d'una colonna liquida, che abbia un'altezza H. Il peso di questa colonna di altezza H equivale alla pressione, che le pareti del cuore esercitano sul sangue; e siccome la reazione è sempre eguale e contraria all'azione, esprimerà ancora la pressione, che viene subita dalle pareti interne del cuore. Essendo adunque la pressione sopportata da questo viscere eguale a quella che esso esercita sul sangue, noi potremo prendere l'una per l'altra. Dovendo pertanto la detta pressione o attiva o passiva essere misurata dal peso di una colonna liquida di altezza H, si domanda qual base o sezione devesi dare alla colonna suddetta per poi calcolarne il peso? Hales le dava per base la superficie interna del ventricolo, ed in tal modo aveva la pressione subita da tutta la superficie del ventricolo stesso. Poiseville non prendeva per base che la sezione dell'aorta, e così otteneva la pressione subita da ogni elemento della superficie ventricolare eguale alla sezione aortica. Meglio però fanno coloro che danno alla detta colonna una base, la quale sia l'unità di superficie, ossia un centimetro quadrato; perchè la superficie del ventricolo non è sempre costante, ma varia durante la contrazione. Quando si voglia conoscere la pressione subita dall'intera superficie ventricolare, basterà moltiplicare per questa il

peso di detta colonna avente per base l'unità di superficie. In quanto poi all'altezza H notiamo che non deve già prendersi quella, che si ha all'origine dell'aorta, perchè essa non è che l'altezza delle resistenze (115), e per ciò le si dovrebbe aggiungere l'altezza corrispondente alla velocità di efflusso all'orifizio di escita: e siccome la velocità del sangue nell'orgine dell'aorta non si può calcolare se non indirettamente e con metodo poco preciso, è da preferirsi il misurare l'altezza H nel cuore stesso. Avendo ciò fatto Chauveau e Marey con un loro apparato detto *cardiografo*, che descriveremo in appresso (144), hanno trovato i valori seguenti espressi in millimetri di una colonna di mercurio.

Orecchietta destra	2,5
Ventricolo destro	25,0
Ventricolo sinistro	128,0.

Alcuni ritengono tali valori essere minori del vero; ma nondimeno essi fanno scorgere la grande differenza di forza dei due ventricoli, non essendo quella del destro che circa un quinto di quella del sinistro, il che bene si accorda colla differenza della massa muscolare dei due cuori, e colla differenza delle resistenze delle due circolazioni (128).

Passiamo a calcolare il lavoro motore. Dovendo esser questo eguale alla somma dei lavori utile e resistente (43); se indichiamo questi tre lavori con Lm, Lu, Lr, avremo

$$Lm = Lu + Lr$$

sapendosi che il lavoro utile è eguale alla forza viva (55), potremo fare $Lu = \frac{mv^2}{2}$, cioè diremo che il lavoro utile fatto da un ventricolo è eguale al semiprodotto della massa del sangue espulso per il quadrato della velocità, che ha il sangue all'imboccatura dell'aorta, o dell'arteria polmonale. Parimente se indico con V la velocità che produrrebbe l'intera carica H, se non vi fossero le resistenze, potrei fare $Lm = \frac{mV^2}{2}$; onde isolando Lu nella prima equazione, e sostituendo ad Lu e ad Lm i detti valori, si otterrà

$$Lr = \frac{mV^2}{2} - \frac{mv^2}{2}, \text{ ossia } Lr = \frac{m}{2}(V^2 - v^2).$$

Essendo il peso p di un corpo eguale alla massa moltiplicata per l'accelerazione g della gravità; essendo cioè $p = mg$ (55), se ne deduce $m = \frac{p}{g}$, e per ciò si avrà ancora $Lr = p\frac{V^2 - v^2}{2g}$. E poichè si sa essere $v = \sqrt{2gh}$ (52) e per conseguenza $h = \frac{v^2}{2g}$, $H = \frac{V^2}{2g}$; sostituendo questi valori, verremo ad avere $Lr = p(H - h)$.

Esprime H, come si è detto, la carica totale, h l'altezza della velocità, e conseguentemente $H - h$ sarà l'altezza della resistenza, che indicheremo con R; onde si avrà il valore del lavoro resistente espresso da $Lr = pR$.

Se adunque nell'equazione $Lm = Lu + Lr$ si sostituiscano i valori che abbiamo determinati, si otterrà $Lm = \frac{mv^2}{2} + pR$, in cui fatto $m = \frac{p}{g}$, si verrà ad avere $Lm = p\left(R + \frac{v^2}{2g}\right)$.

Con questa formola si calcola il lavoro del cuore. Se, ad esempio, si volesse conoscere il lavoro effettuato dal ventricolo sinistro, basterebbe porre $p = ch.$ 0,18, essendo tale il peso del sangue espulso da esso ventricolo in ogni sistole; $v = 0,^m5$ secondo il calcolo di Chauveau, ed R = metri 2; il che fatto verrà ad essere Lm = chilogrammetri 0,362.

Essendo questo il lavoro che il ventricolo sinistro effettua in una sistole; quando si voglia sapere il lavoro eseguito dal detto ventricolo in 24 ore, basta considerare, che avendo luogo presso a poco 70 sistole per ogni minuto primo, e quindi in 24 ore sistoli 100800, il lavoro totale verrà ad essere di chilogrammetri $0,362 \times 100800 = 36489,6$.

Molto minore è il lavoro fatto dal ventricolo destro, mentre ivi l'altezza della resistenza R non è che un quinto di quella del ventricolo sinistro.

139. Moto ondulatorio del sangue. — Il sistema dei vasi sanguigni è costituito da tubi elastici, e da ciò viene (124), che oltre al moto traslatizio debba esservi nel sangue un moto ondulatorio tanto nella grande che nella piccola circolazione. All'origine di ciascuno di questi due sistemi la contrazione del ventricolo dà causa alla formazione di un onda positiva (74) mentre nell'altro estremo del sistema il dilatarsi dell'orecchietta fa nascere un onda negativa. Tanto il contrarsi del ventricolo, quanto il dilatarsi dell'orecchietta influiscono di concerto al moto del sangue; poichè l'onda positiva fa avanzare il liquido nel senso in cui essa si propaga, e la negativa nel senso contrario a quello, in cui essa onda procede (122). L'onda positiva avendo origine nei grossi tronchi arteriosi, dove è ben grande la pressione, è più robusta dell'onda negativa, la quale ha principio nei grossi tronchi venosi, in cui la pressione è assai debole (128). Quindi è, che la prima si propaga a distanza molto maggiore di quella, che percorre la seconda; non annullandosi la prima che al principio della rete capillare, mentre questa solamente si estende ad un piccolo tratto del sistema venoso vicino al cuore. Anche nelle piccole arterie conserva l'onda positiva quasi tutta la sua energia, ma nei capillari si estingue a motivo delle numerosissime biforcazioni. Spingendo il cuore intermittentemente il sangue, il flusso di questo all'origine del sistema arterioso deve essere pure intermittente: siccome però le pulsazioni cardiache sono assai frequenti, l'intermittenza presto cessa, in modo che più non si rinviene nei tronchi che immediatamente provengono dall'aorta; ma qui solamente si verifica un variare di velocità, che svanisce del tutto nei capillari. Nei grossi tronchi venosi torna a vedersi la variazione di velocità a motivo dell'onda negativa, ma non più ha luogo l'intermittenza di flusso nemmeno nei punti in cui le vene cave e le polmonali sboccano nell'orecchiette.

140. Influenza dell'elasticità delle arterie sulla dispensa. — Si è ora veduto, che l'elasticità delle arterie rende continuo il flusso del sangue, quantunque sia generato da una forza intermittente, provenendo ciò da che l'elasticità dei vasi *ammagazzena* una parte della forza sviluppata nella sistole del ventricolo, per restituirla poi e spenderla nel fare progredire il sangue durante la diastole. Adunque l'elasticità delle arterie nulla dovrebbe aggiungere alla forza del cuore, e perciò la dispensa dovrebbe essere eguale a quella, che avrebbe luogo, se le arterie fossero rigide: ciò si è ammesso per molto tempo. Abbiamo però noi riferito (126) come Marey abbia dimostrata falsa tale opinione, avendo fatto vedere, che la portata in un tubo elastico è maggiore di quella effettuata per un tubo rigido, quando l'afflusso nei detti due tubi sia intermittente. È stato Giraud-Teulon, che ha data una giusta spiegazione a tale fenomeno. Se il tubo è elastico ad ogni nuovo afflusso di liquido, si deve dilatare ed aumentare di diametro; deve quindi decrescere la velocità del liquido, e per conseguenza anche l'attrito (116). Essendo pertanto minore la resistenza, si consumerà per vincerla minor quantità di forza motrice, e la parte per tal modo risparmiata anderà a favorire il flusso del liquido, il quale conseguentemente sarà maggiore di quello che in parità di circostanze ha luogo in un tubo rigido. Si dovrà adunque conchiudere, due essere i vantaggi arrecati dall'elasticità delle arterie; cioè la detta elasticità rende il flusso continuo, e diminuisce la resistenza, risparmiando una forza considerevole all'organo motore. La perdita dell'elasticità dei vasi, che avviene nell'età senile, deve esigere un'aumento di forza da esercitarsi dal cuore; ed ecco perchè l'ossificazione delle arterie nei vecchi è sempre accompagnata da ipertrofia del ventricolo sinistro; fatto già conosciuto, di cui non si sapeva rendere ragione.

141. Del polso. — L'onda diretta che percorre il sistema arterioso (139) produce il fenomeno, che si suol chiamare *polso*. Interessa assai al medico il conoscere i caratteri fisici del polso, perchè da essi deduce lo stato organico dell'apparato circolatorio, e lo stato morboso dell'individuo. Per molto tempo i medici si sono tenuti paghi di esaminare il polso, ponendo la mano sull'arteria; ma non essendo questo un modo adatto a far conoscere tutti i caratteri della pulsazione, e non potendo servirsi dei chimografi (131), i quali esigono la vivisezione, hanno dovuto ricorrere ad apparati appositi detti *sfigmografi*. Prima descriveremo questi, e poi parleremo delle condizioni fisiche che corrispondono alle varie forme della pulsazione.

142. Sfigmografi. — Fu Vierordt, che nel 1855 inventò lo sfigmografo, il quale ha la forma seguente (fig. 101). Una leva *ba* può girar su di un'asse orizontale *c* in un piano verticale: una punta applicata alla detta leva va a terminare nella laminetta *p*, che preme sulla sottoposta arteria. All'espandersi di questa viene sollevata la lamina *p* e molto più l'estremità *a* della leva. Non potrebbe questa ben tracciare la pulsazione sul cilindro verticale girevole *s*, perchè esso estremo *a* descrive un arco di cerchio. Era quindi necessario convertire il suo moto in un altro verticale ret-

tilineo; il che si è ottenuto per mezzo della seconda leva *gf*, che parimente può ruotare su di un asse orizzontale *i*. Alle dette due aste *ab*, *fg* vanno congiunte a snodatura le verghette orizzontali *nn*, *mm*, le quali per mezzo di sottili punte stanno incastrate in un piccolo telaio quadrangolare, da cui parte la punta *o*, a cui sta annessa un'altra, che traccia la curva su di un foglio di carta annerita col nerofumo ed avvolta al cilindro *s*.

Lo sfigmografo di Vierordt a motivo della sua grande massa non obbedisce istantaneamente alla forza che tende a metterlo in moto, e per ciò non dà se non lente oscillazioni. A tale difetto ha posto rimedio Marey coll'ideare un altro sfigmografo basato sul seguente principio. Una molla R (fig. 102) fissa invariabilmente in una sua estremità, poggia coll'altra, la quale è arrotondata, sopra un'arteria AA, e la comprime. Una punta verticale C sorgente dalla detta parte arrotondata, viene a toccare una leva leggerissima OL di legno e di alluminio in un punto vicinissimo ad O, intorno a cui può girare verticalmente la detta leva. La lunghezza del braccio maggiore di questa è 50 volte più grande della lunghezza del minor braccio; ond'è (32) che il movimento della punta C è cambiato in un altro movimento 50 volte più grande. La descritta è la parte essenziale dello sfigmografo di Marey: diverse parti aggiunte, e leggiere modificazioni rendono l'apparato di facile applicazione. Un rettangolo o cornice metallica munita di lacci serve per fissare l'apparato sul braccio. Su questo rettangolo hanno il punto d'appoggio la molla R, una lunga leva leggerissima, ed un'altra leva intermedia, che serve a trasmettere alla prima il moto della molla. All'estremità libera della lunga leva è congiunta lateralmente una punta, che segna i movimenti sopra un foglio di carta portato da una placca, la quale spinta da un macchinismo d'orologeria si muove con moto uniforme in direzione parallela alla leva (*).

(*) Nell'adoperare lo sfigmografo di Vierordt si debbono usare le stesse cautele notate per il chimografo a forza elastica (132); cioè la punta scrivente deve muoversi in una linea rigorosamente retta, e deve premere sulla carta con forza bastevole soltanto a tracciare la curva; il braccio poi su cui poggia l'apparato deve essere tenuto fermo da una molla fissata in un sostegno. Riguardo all'uso dello sfigmografo di Marey è da osservarsi, che nell'apparecchio vi è una vite, mediante la quale l'estremo arrotondato della molla si può abbassare od inalzare a piacere. Adattato lo sfigmografo al braccio, si gira la vite in modo che la molla si ponga a contatto dell' arteria e partecipi al moto ondulatorio di questa, senza però che l'abbia soverchiamente a comprimere. Perchè poi la curva tracciata bene esprima i caratteri del polso, deve l'infermo rimanere perfettamente immobile ed in silenzio, evitare qualunque respirazione forzata, non deve tossire, non sbadigliare, non starnutare, non sospirare, non piangere, cose tutte che turbano la circolazione normale. Si è verificato che l'orgasmo, che la presenza del medico suol produrre nell' ammalato, è valevole ad alterare la curva sfigmografica. Si deve pure badare che non vi sia alcuna fasciatura, che modifichi o la respirazione od il corso sanguigno. Se si vogliono confrontare le traccie ottenute in varie sedute è necessario mettere l'infermo sempre in una medesima posizione. Le curve tracciate si possono rendere fisse col metodo di Scott, che consiste nell' immergere la carta dopo di averla tolta dallo sfigmografo in un bagno di alcool puro, e fattala asciugare, tuffarla di nuovo nell' alcool contenente una resina.

143. Caratteri fisici del polso. — Coll'applicazione della mano sull'arteria e coll'uso degli sfigmografi si conoscono i caratteri fisici del polso. Colla semplice applicazione della mano si apprende facilmente il grado di frequenza delle pulsazioni, il cui numero corrisponde a quello dell'onde prodotte nel medesimo tempo all'origine del sistema arterioso, ossia al numero dei battiti del cuore; e qualunque alterazione nel ritmo del polso indica un'alterazione corrispondente nelle battute cardiache, sia che il polso varii in quanto alla sua forza, od in quanto all'eguaglianza d'intervallo tra un battito e l'altro.

I caratteri distintivi poi di ciascuna particolare pulsazione possono ripetersi da due cause; cioè ora dipendono dal modo secondo cui l'onda è stata prodotta all'origine del sistema, ora dallo stato delle pareti delle arterie. Relativamente a quest'ultima causa bisogna distinguere lo stato di ripienezza più o meno grande dei vasi dal grado di tensione delle pareti vascolari. Invero più un'arteria è piena di sangue, più sarà considerevole la sua tensione: ma questa tensione può ancora dipendere dalla contrattilità delle arterie; imperocchè quando le fibre muscolari, che entrano nella composizione della tunica intermedia dell'arteria, trovansi in contrazione, fanno diminuire il calibro dell'arteria stessa; e quindi si aumenta la tensione senza che siavi abbondanza di sangue. Al contrario diminuisce la tensione quando quelle fibre muscolari si rilasciano. Si debbono adunque distinguere il polso *pieno* ed il polso *vuoto* dal polso *duro* e dal polso *molle*: i primi hanno relazione ad abbondanza od inopia di sangue; i secondi a soverchia o debole tensione delle pareti dell'arteria. A giudicare dello stato di questa anche adesso è importante di tener conto del modo più o meno netto, con cui le pulsazioni si manifestano al tatto. Il polso *debole* ha per causa o una diminuzione di energia nelle contrazioni del cuore, o l'interposizione d'una sostanza molle tra l'arteria e la mano o l'istrumento, ovvero un notevole ristringimento nel calibro del vaso (116), od infine mancanza di elasticità nelle pareti del vaso sanguigno, nel quale ultimo caso può la pulsazione mancare totalmente, come di frequente avviene nei vecchi, nei quali le arterie per l'ossificazione senile prendono le proprietà dei tubi rigidi.

Ma le indicazioni le più importanti sono somministrate dalla forma stessa delle pulsazioni, ossia dalla rapidità, colla quale la pulsazione percorre le diverse sue fasi. A rilevare questa forma non basta tastare il polso, ma è necessario osservare la linea sinuosa descritta dal polso per mezzo dello sfigmografo; nella qual curva vanno distinte tre parti fondamentali, cioè l'*ascesa*, la *sommità* e la *discesa*. In quanto all'ascesa deve dirsi, che se essa si faccia con rapidità il polso appellasi *veloce*, ed in caso contrario *lento*. Nel primo caso il primo tratto della curva è una linea verticale; tale è il polso espresso dalle figure 103, 104, 105. Che se il detto primo tratto è notevolmente obliquo (fig. 106), il polso è lento. Non bisogna poi confondere il polso veloce col *frequente*, mentre può essere un polso nel medesimo tempo veloce e *raro*, come può essere lento e frequente. Il polso indicato dalla fig. 104

è nel medesimo tempo veloce e raro. Relativamente alla discesa è da notarsi, che essa alle volte succede con velocità ed incominciata appena la linea, ha raggiunta la sua sommità di ascesa (fig. 105), nel qual caso la curva è acuminata in alto, e la linea di discesa è poco obliqua. Altre volte la pulsazione si mantiene qualche tempo al massimo di tensione, e poi ridiscende lentamente ed allora la curva è appianata nella sua sommità e la linea di discesa è molto obliqua (fig. 106). Dicesi poi *monocroto* il polso, allorchè ogni pulsazione è espressa da una sola linea di ascesa e di una sola linea di discesa; e si appella *dicroto* o *rimbalzante*, quando la prima pulsazione è accompagnata da un battito secondario, nel qual caso la curva in un punto ha una una piccola sinuosità (fig. 103, 105).

Accenniamo le cause di tali diversità di polso. Questo è tanto più veloce, quanto maggiore è la celerità con cui l'onda sanguigna è spinta nel sistema arterioso, e per ciò il polso veloce indica, o che la sistole ventricolare è rapida, o che il sangue nell'entrare nelle arterie incontra meno resistenza del consueto. La rapidità della discesa poi è sempre dipendente dallo stato delle pareti delle arterie; imperocchè quanto più queste sono elastiche, tanto prima, dopo di essere state distese dall'onda sanguigna, tornano a restringersi, facendo rapidamente effluire il sangue. Viceversa il polso ridiscenderà lentissimamente quando le pareti dei vasi abbiano perduta la loro elasticità, come si osserva nell'ossificazione delle arterie. Il dicrotismo si verifica nei casi, in cui la discesa della pulsazione è assai rapida senza che si abbia nelle arterie una perfetta elasticità; ed è più pronunciato allorchè la tensione delle arterie è molto diminuita, come avviene nelle malattie febrili e specialmente nella tifoide. È inoltre il dicrotismo favorito dalla presenza di un ostacolo al corso del sangue in un punto posto più avanti di quello esplorato; la qual cosa può dimostrarsi esperimentalmente col far nascere un'onda nell'interno di un tubo pieno di liquido ponendo poi un ostacolo all'efflusso, ad esempio, col restringere l'orifizio di sgorgo. Ecco perchè il dicrotismo si sente più nettamente nei punti delle arterie più vicini al sistema capillare.

144. Cardiografo. — Prima di por termine all'emodinamica dobbiamo parlare di un altro apparato detto *Cardiografo* dovuto a Bouisson (fig. 107). Un'ampolla di guttaperca D piena d'aria è fissata all'estremità di un tubo più o meno lungo, della medesima sostanza, che va a comunicare con un tamburo metallico piatto *t*, chiuso nella sua parte superiore da una membrana elastica, al cui centro è collocata una lamina di metallo. L'aria dell'ampolla comunica per mezzo del tubo colla cavità del tamburo, ma non coll'aria esterna. Se si comprime l'ampolla, la membrana del tamburo tosto in mezzo si solleva.

Sopra una piccola verga verticale fissa nel mezzo della lamina metallica riposa una leva *lo*, cosicchè il punto di contatto stia vicino al centro di rotazione *o*. L'estremità della detta leva descriverà ingranditi i movimenti della membrana sopra una carta annerita avvolta intorno al solito cilindro girante. È poi tanta la facilità, che ha un volume limitato di aria, a trasmettere i movi-

menti vibratorii, che se si pone a contatto di D un diapason che suoni, le vibrazioni di questo si trovano registrate nella carta, anche se diasi al tubo di comunicazione una grande lunghezza. Chauveau e Marey hanno riunito insieme tre cardiografi collocati l'uno sopra all'altro, ed hanno introdotta l'ampolla del cardiografo superiore nell'orecchietta destra del cuore d'un animale, l'ampolla del medio nel ventricolo destro, mentre quella dell'inferiore era da essi posta nello spazio intercostale, ove si sente il battito del cuore. Gli estremi delle tre leve terminavano in una medesima verticale e lasciavano traccia nel medesimo foglio di carta. Dall'ispezione delle tre curve si rese manifesto, che la contrazione dell'orecchietta precede quella del ventricolo, e che questa coincide colla pulsazione del cuore (*).

Lo stesso Marey ha modificato il cardiografo per renderlo adatto ad essere collocato nella regione precordiale, onde fargli registrare le pulsazioni del cuore. La modificazione si riduce alla sostituzione di un altro trasmettitore all' ampolla. Quest' apparato consiste (fig. 108) in una piccola capsula di legno chiusa nella parte inferiore da una membrana elastica. Al fondo di detta capsula sta fissa una molla, che può tendersi più o meno, e che termina in una placca di avorio, la quale sporge in fuori. Si applica l'istrumento sul petto in modo che la placca appoggi sul punto, ove si fa sentire la pulsazione del cuore, il cui movimento sarà così trasmesso dalla molla alla membrana, da questa all'aria interna, che lo comunica alla leva, e questa lo traccia nella carta.

CAPO VII.

FENOMENI DI CAPILLARITÀ

145. *Coesione, affinità, adesione* — 146. *Fenomeni di capillarità* — 147. *Leggi della capillarità* — 148. *Causa dei suddetti fenomeni* — 149. *La capillarità non produce scolo* — 150. *Alcuni fenomeni dipendenti dalla capillarità* — 151. *Movimenti ad essa dovuti.*

145. Coesione, affinità, adesione. — Si chiamano forze molecolari quelle che agiscono sulle ultime particelle della materia per tenerle fra di loro strette e collegate. L'attrazione molecolare si esercita o tra le molecole omogenee del medesimo corpo, o fra molecole di natura diversa, ovvero fra la superficie di un corpo

(*) L'introduzione dei due tubi, che debbono andare al cuore destro, si fa per la vena iugulare. Per avere poi la traccia della pulsazione cardiaca ben precisa è bene, che il trasmettitore sia a contatto con una parte poco estesa della regione precordiale.

e quella d'un altro: nel primo caso la forza attrattiva dicesi *coesione*, nel secondo *affinità*, *adesione* nel terzo. È ben manifesta la coesione nei solidi; essa si scorge ancora nei liquidi, provenendo dalla medesima, che questi escano da un orificio assai stretto goccia a goccia. Tutte le composizioni e decomposizioni chimiche ci dimostrano l'affinità. L'adesione poi si può rendere palese nel modo seguente. Presa una palla di piombo si tagli a metà con una lama molto affilata, onde il taglio sia netto e presenti due superficie perfettamente piane. Riavvicinate le due mezze sfere, e premuta l'una contro l'altra, si vedrà, che le due parti aderiscono fra di loro così fortemente, che per separarle è necessario uno sforzo qualche volta considerevole. Può esercitarsi l'adesione anche tra un solido ed un liquido. Immersa difatti una lamina di vetro nell'acqua, e ritiratala fuori, essa si vede ricoperta d'uno strato di acqua, e si dice che è *bagnata;* il che avviene per l'adesione tra il vetro e l'acqua. Si attachi sotto un bacino della bilancia idrostatica (96) orizzontalmente un disco, e si faccia in modo, che la superficie inferiore di questo tocchi la superficie di livello di un liquido, il quale empie il sottoposto recipiente. Ponendo dei pesi grado a grado crescenti nell'altro bacino, si vede che non subito si distacca il disco dal liquido, ma che ad ottener ciò si richiede un determinato peso diverso per le diverse sostanze, delle quali è formato il disco e per i diversi liquidi. Si domanda: un tal peso diminuito di quello del disco misura l'adesione? Per rispondere fa d'uopo osservare, se il disco distaccato è rimasto bagnato o no. Nel secondo caso quel peso misura l'adesione, nel primo la coesione del liquido, essendo chiaro, che piuttosto di distaccarsi il disco dal liquido, uno strato liquido si è distaccato da un'altro. Spesso avviene, che immergendo nell'acqua una lamina di vetro o di metallo, si vegga tutta ricoperta di bollicine d'aria; il che ci obbliga ad ammettere, che prima dell'immersione un sottile strato di aria aderiva alla lamina, il quale strato è reso poi visibile entro al liquido. Dunque si ha adesione anche tra un solido ed un gas.

146. Fenomeni di capillarità. — Il vario rapporto che passa tra la coesione di un liquido e la sua adesione colle pareti del recipiente, in cui è contenuto, dà origine ai fenomeni di *capillarità*, che ora descriviamo. Se in un liquido qualunque s'immerga un tubo il cui diametro sia maggiore di 20 millimetri; il liquido si dispone alla medesima altezza di livello tanto nell'interno che nell'esterno del tubo, come esige la teoria dei vasi comunicanti (93). Ma la cosa è ben diversa se il tubo è capillare, ossia di piccolissimo diametro. In questo caso se il liquido è di tal natura da bagnare le pareti del tubo, la sua superficie di livello sorge di più nell'interno del tubo che nell'esterno, e la superficie di livello interna è concava. Viceversa se il liquido non bagna il tubo, la superficie di livello nell' interno è convessa, e si trova depressa sotto il livello esterno.

147. Leggi della capillarità. — La legge principale della capillarità si suole chiamare *legge di Iurin*, e si annunzia col dire, che per un medesimo liquido e per tubi formati di una medesima sostanza la differenza di altezza di livello nell'interno del tubo e

nell'esterno è nella ragione inversa del raggio del tubo capillare. Gay-Lussac ha verificata questa legge, operando nel seguente modo. Si abbiano più tubi capillari di diverso diametro, e si determini esattamente il raggio di ciascuno. Per ottener ciò si prenda una piccola quantità di mercurio e si pesi; conoscendosi il peso specifico di questo metallo alla temperatura in cui si fa l'esperimento, si divide il peso assoluto per il detto peso specifico, e così se ne avrà il volume (100). Introdotta tal quantità di mercurio in uno dei tubi capillari, si misura l'altezza della colonna, che va a formarsi. Lo spazio occupato dal metallo è eguale al noto volume di questo, ed è eguale ancora all'altezza della colonna moltiplicata per la superficie della base. Dividendo adunque il volume del mercurio per l'altezza già misurata, il quoto esprimerà la superficie della base ossia la superficie della sezione del tubo; onde sarà poi facile determinarne il raggio per mezzo della nota formola $s = \pi r^2$. Ciò fatto si adopra un vaso V (fig. 109) collocato sopra un sostegno munito di viti di livello, onde possa mettersi in una posizione perfettamente orizzontale. Ad una specie di morsetta PQ fornita di viti di pressione e che riposa sui lembi del vaso sono fissi due o più tubi capillari di noto diametro. Nella morsetta vi è ancora una vite di lunghezza ben cognita e terminante in punta in ambedue le estremità. Posto nel recipiente un liquido capace di bagnare i tubi, sicchè lo empia per tre quarti della sua altezza, avrà luogo nei tubi suddetti il fenomeno di capillarità. Si gira la vite in maniera che essa vada colla punta inferiore a sfiorare la superficie del liquido contenuto in V, e quindi con un catetometro si mira successivamente il livello di una colonna liquida di un tubo e la punta superiore della vite. Siccome è cognita la lunghezza totale di questa, se da tale lunghezza si venga a sottrarre la parte intercettata dalla punta superiore e dal livello della colonna liquida del tubo, e che si è misurata col catetometro, il residuo darà l'altezza della colonna liquida sul livello esterno. Ripetuta la stessa cosa relativamente agli altri tubi; si vede che il prodotto dell'altezza della colonna liquida per il raggio del tubo, in cui si contiene, è una quantità sempre costante; il che importa, che l'altezza suddetta sia in ragione inversa del raggio.

I fenomeni di capillarità avvengono ancora fra due lamine parallele immerse verticalmente in un liquido, e tenute vicinissime fra loro. In questo caso hanno luogo le due seguenti leggi: 1ª l'inalzamento del liquido fra le due lamine è in ragione inversa della loro distanza; 2ª la differenza di altezza dei due livelli è la metà di quella, che si avrebbe in un tubo di diametro eguale all'intervallo compreso fra le lamine stesse. Dipende dalla prima di queste due leggi la spiegazione del fenomeno sperimentato da Hauksbee, il quale avendo riunite le due lamine a cerniera in guisa da formare un angolo diedro, le immerse in un liquido colorato, e vide che questo si elevava fra le lamine ad un'altezza maggiore vicino alla costola, e decresceva di altezza tanto più quanto più il punto che si considerava era lontano dalla costola stessa, in modo che la superficie di livello fra le due lamine veniva a prendere la forma di un'iperbole equilatera.

148. Causa dei fenomeni di capillarità. — Si è accennato (146) che i fenomeni di capillarità dipendono dal rapporto che passa fra la coesione delle molecole del liquido e l'adesione di questo colle pareti del tubo. Ora aggiungiamo, che tale rapporto non è causa immediata dell'elevazione o depressione della colonna, ma è causa mediata; cioè esso influisce nel far prendere al liquido entro al tubo una superficie o concava o convessa, e questa superficie, a seconda che è convessa o concava, obbliga il liquido a disporsi nell'interno del tubo ad un livello o inferiore o superiore a quello esterno.

Vediamo in primo luogo, come il detto rapporto possa influire sulla forma che prende la superficie di livello entro al tubo. Si abbia un vaso (fig. 110) contenente un liquido qualunque, ed in questo s'immerga una lamina *b c*. Si consideri una molecola *a* del liquido, che faccia parte della superficie di livello e sia collocata ad una distanza da *b c* minore del raggio dell'*attrazione sensibile*, cioè ad una distanza in cui possa sentire la forza di attrazione esercitata dalla lamina. Questa molecola sarà simultaneamente sollecitata da tre forze, cioè dalla gravità, che agisce nel senso della verticale *ag* (46); dalla coesione o forza attrattiva esercitata dalle molecole del liquido poste in *m a g*, le cui azioni parziali hanno una risultante *aq*, la quale deve trovarsi entro all'angolo *gam*; e dalla forza di adesione agente nella direzione *ap* perpendicolare alla lamina *b c*. Ora le dette tre forze *a q*, *a g*, *a p* avranno una risultante (26) la cui posizione dipenderà dalla varia relazione che passa tra *a q* ed *a p*. Tre casi poi si possono dare, cioè che 1° la risultante coincida colla verticale *a g*, o 2° cada entro l'angolo *q a g*, o 3° dentro l'angolo *g a p*. Si dimostra col calcolo, aver luogo il primo caso quando la coesione è eguale al doppio dell'adesione, il secondo quando la coesione è maggiore del doppio dell'adesione, ed il terzo quando quella è minore del doppio di questa. Ciò notato si rifletta, che secondo ciò che insegna l'idrostatica, la superficie di livello di un liquido si deve disporre perpendicolarmente alla risultante delle forze, le quali agiscono sulle molecole di esso liquido: ond'è che, quando le molecole vicine alla lamina hanno una coesione eguale al doppio dell'adesione, debbono formare una superficie di livello normale ad una retta verticale, cioè disporsi in una superficie orizzontale piana. Che se la coesione sia maggiore del doppio dell'adesione, la superficie di livello formata da quelle molecole porrassi in direzione perpendicolare alla forza risultante *a q* (fig. 111), e per ciò verrà ad inclinarsi, abbassandosi dalla parte rivolta alla lamina, vicino a cui si formerà come un solco incavato. Finalmente posto che la forza di coesione sia minore del doppio dell'adesione, le molecole non molto lontane dalla lamina, dovendo formare una superficie di livello perpendicolare alla risultante *a x* (fig. 112), andranno a costituire un orlo rilevato vicino alla lamina. Se invece di una lamina s'immerga un tubo nel liquido, la superficie di livello sarà tutta piana nell'interno nel primo caso, ma questa formerà un solco incavato intorno intorno a contatto delle pareti del tubo nel secondo caso, mentre nel terzo invece del solco si formerà all'intorno un orlo rilevato. Se il diametro del tubo è

grande, anche in questi due ultimi casi la superficie di livello interna è piana nel mezzo, perchè le molecole ivi poste stanno fuori del raggio, in cui si esercita l'attrazione delle pareti del tubo; ma se il diametro è piccolissimo, la parte piana viene a mancare, e la superficie diventa convessa nel secondo caso, concava nel terzo.

Non convengono poi i fisici fra di loro nell'assegnare la ragione per la quale la forma concava, che prende la superficie di livello del liquido nell'interno del tubo, influisce a sollevare la colonna liquida, e la forma convessa a deprimerla. Esporremo le principali opinioni. Molti si contentano di dire, che il minisco convesso preme di più verso il basso di quello che faccia un minisco concavo, perchè il primo è del tutto distaccato dalle pareti del tubo; onde la colonna non è da questo affatto sostenuta, e per conseguenza è spinta in basso da tutto il suo peso. Che se la superficie è piana, o meglio se questa è concava, il lembo del minisco concavo o della superficie piana aderisce alle pareti del tubo, ma molto più nel primo che nel secondo caso; e perciò le pareti del tubo vanno a sorreggere la colonna liquida, la cui pressione in basso conseguentemente deve essere minore. Se adunque nel-interno del tubo siasi formata una superficie concava, mentre nell'esterno è piana, si avrà come un sistema di vasi comunicanti, in uno dei quali (il tubo capillare) siasi versato un liquido meno denso, e nell'altro (il vaso grande) un liquido pesante: sarà quindi necessario per l'equilibrio, che l'altezza di livello sia maggiore nel primo che nel secondo (93). Dovrà dirsi il contrario quando entro al tubo la superficie di livello si sia disposta in curva convessa.

Altri così spiegano il fenomeno: rappresenti *c d g r* (fig. 113) una parte di tubo capillare pieno di un liquido la cui superficie di livello sia piana e venga rappresentata da *a b*. Si consideri una molecola M presa sulla colonnetta centrale HI e collocata sotto alla superficie di livello per una distanza HM minore del raggio d'una sfera, che denoti intorno ad M lo spazio, entro cui poste altre molecole, queste esercitano la loro attrazione sulla prima. La molecola M sarà spinta in basso dal proprio peso, dalla pressione del liquido sovraincombente e dall'aria sovrastante: ma essendo queste forze costanti, qualunque sia la forma della superficie di livello, faremo astrazione da esse. Esaminiamo invece l'effetto prodotto sulla molecola M dall'attrazione molecolare. Ad una distanza MP da M eguale alla distanza MH si conduca un piano *h n*, ed un'altra superficie piana *r g* si guidi distante per MF da M di tanto, di quanto si estende l'azione molecolare. Tutte le molecole che si trovano entro allo spazio *abnh* non produrranno alcun effetto colla loro attrazione su di M; perchè essendo il detto spazio simmetrico intorno ad M, l'azione delle molecole che tirano M in alto, neutralizza quella delle molecole opposte, le quali tendono a tirare M in basso. Quindi è che produrrà effetto utile soltanto l'attrazione esercitata dalle molecole le quali si trovano nello spazio *hngr*, e che spingeranno M in basso. Si supponga in secondo luogo essere la superficie di livello *c* H *d*, ossia concava; allora per il punto P s'immagini condotta una superficie *o* P *q* simmetrica alla prima, e per le ragioni testè accennate sarà chiaro, che nes-

suna pressione verso il basso produrranno coll'attrazione su di M le molecole occupanti lo spazio *cdqo*, ma solamente M sarà spinta in giù da quelle che stanno nella spazio *o*P*qgr*, il quale spazio è minore dell'altro *hngr*: onde risulta, essere maggiore la forza attrattiva, che tira M in basso nel primo caso, di quella la quale ha luogo nell'attuale. Finalmente se la superficie di livello è *e*H*t* convessa, conducendo per P la superficie *s*P*l* simmetrica alla prima, si vedrà che lo spazio occupato dalle molecole, che esercitano una attrazione efficace a premere in giù M è *s*P*bgr* maggiore anche dello spazio *hngr*. Per la qual cosa si conchiude, che quando la superficie di livello è convessa, la molecola M è premuta verso il basso più di quando la superficie suddetta è piana, e più assai di quando è concava. Il medesimo si potrà ripetere di tutte le molecole della colonnetta centrale situate rispetto alla superficie di livello ad una distanza minore del raggio d'attrazione molecolare, e quindi si potrà dedurre, che una superficie concava deve far premere la colonna liquida verso il basso con minor forza di quella, con cui la preme una superficie piana, e che quest'ultima la spinge in giù meno di quello che faccia una superficie di livello convessa.

Il Fusinieri spiegò i fenomeni capillari, ricorrendo al suo principio della *forza ripulsiva della materia attenuata*. Questo gran fisico ha sperimentato, che allorquando un liquido si è ridotto ad una sottile falda formante un angolo cuneiforme all'orlo, si manifesta nel liquido una forza ripulsiva, che tende a spingerlo in fuori e scagliarlo via dal vertice di detto angolo. Perchè poi questa forza ripulsiva sia molto energica, è necessario che il suddetto angolo non sia molto acuto. S'immagini invero una lamina divisa in molte altre più sottili, ma di diversa lunghezza, cosicchè dalla lòro sovrapposizione nasca l'orlo cuneiforme. In ciascuna di queste laminette la forza espansiva tenderà a mettere in moto la materia dal centro verso l'orlo. La forza manifestatasi nello strato esterno agirà nella parte eccedente del secondo strato ad esso sottoposto e ne aumenterà il moto: nella stessa maniera la forza espansiva così aumentata del secondo strato accrescerà il moto nella parte eccedente del terzo strato e così di seguito. Quanto sono più prossimi fra di loro i confini delle laminette, ossia quanto meno è acuto lo spigolo cuneiforme, in tanto minore spazio troverassi accumulata la somma delle forze espansive, e quindi tanto maggiore ne sarà l'effetto. Ma se il contorno non deve, per quello che si è detto, essere molto affilato, non deve d'altronde avvicinarsi molto all'angolo retto, perchè in qnesto caso le azioni degli strati riescendo fra di loro in direzione perpendicolare, diventa nulla l'impulsione parallela alla superficie. Fra i tanti esperimenti di Fusinieri e del ch. prof. Enrico Del-Pozzo solamente riferiremo i due seguenti. Empiuto di acqua un recipiente si versi sulla superficie di questa una gocciola di olio, la quale si andrà espandendo, assottigliandosi verso i lembi in modo da formare uno spigolo cuneiforme. Verrà un punto in cui il liquido sarà spinto in fuori, e succederà quasi un'espansione. Formato un piccolo rettangolo con un filo metallico, s'immerga in una soluzione di sapone, e poi con cura si estragga. Si vedrà tesa in esso rettangolo una pellicola liquida d'uniforme

ertezza. Posto di poi il rettangolo verticalmente, verrà meno ben presto l'uniformità di ertezza, poichè scorrendo il liquido dall'alto in basso, la pellicola si affinerà nella parte superiore, ed in basso si formerà una specie di cuneo avente il vertice rivolto in alto. Allorchè questo avrà raggiunto una data grandezza, il liquido ritorna in alto a motivo della suddetta forza, che obbliga il liquido ad espandersi fuori del vertice del cuneo. Ecco come l'esposto principio viene applicato alla spiegazione dei fenomeni di capillarità. La superficie concava, che il liquido prende nell'interno del tubo, deve considerarsi come una lamina sottile con i lembi piegati verso l'alto: quindi è che il liquido in alto si espande, ed il cuneo subito si riforma, e seguita così l'espansione. Se il tubo è capillare, il liquido, che espandendosi ascende, trae seco le parti coerenti, onde viene a sollevarsi l'intera colonna, finchè il peso di questa non impedisce l'ulteriore sollevamento, il quale viene pure impedito dal vapore che sovrasta al liquido ascendente, e che energicamente si oppone all'azione dello spigolo. Che se entro al tubo la superficie è convessa, dovrassi considerare come formata da una lamina sottile con i lembi piegati in basso; ond'è che la forza espansiva di questa, anzichè tendere a sollevare la colonna, tenderà a comprimerla.

149. La capillarità non produce scolo. — La capillarità non può generare lo scolo del liquido dalla sommità di un tubo. Si abbia difatti (fig. 114) un vaso, alla cui parte inferiore sia fissato un tubo capillare AB piegato ad angolo retto e comunicante con esso. Si versi acqua nel recipiente, la quale per la capillarità si porterà nel tubo ad una maggiore altezza della superficie di livello NV entro al vaso, essendo concava quella del liquido nel tubo. Se si seguita a versar acqua nel recipiente, la colonnetta liquida nel tubo proseguirà a sollevarsi: ma giunta che sia alla sommità B', la sua superficie libera addiverrà piana, ed allora si troverà alla medesima altezza N'V' dell'acqua del vaso. Finalmente se in questo si versa ancora altro liquido, si vedrà che nella sommità B'' del tubo si forma una superficie convessa, la quale per conseguenza deve rimanere più bassa della superficie N'' V'', che ha l'acqua nel vaso. Per altro liquido aggiunto incomincia il versamento, il quale, come è chiaro, ha tutt'altra causa, che la capillarità, con cui si può pertanto ottenere che il liquido giunga fin presso all'estremo superiore del tubo capillare, e che quivi abbia luogo una lenta evaporazione; ma non mai il versamento del liquido.

150. Alcuni fenomeni dipendenti dalla capillarità. — Le azioni capillari servono a spiegare molti fenomeni. Quando s'immerge un pezzo di zuccaro per uno dei suoi punti in un liquido colorato, si vede che in breve tempo questo ascende a bagnare tutta la massa zuccherina: parimente si vede salire l'olio nel lucignolo della lampada e la cera fusa in quello della candela. È negli interstizii capillari dello zucchero e del cotone, che la capillarità esercita la sua azione. Produce la capillarità alcuna volta dei fenomeni, che sembrano contradire al principio d'Archimede (96). Eccone un esempio. Un ago da cucire nelle condizioni ordinarie gettato nell'acqua va al fondo, perchè pesa più del liquido spostato; ma se esso si ricopre leggermente di qualche sostanza un-

tuosa, bastando per questo di confricarlo colle dita, si vede galleggiare. Questo però non altera il principio di Archimede, poichè nell'esposto caso non essendo più l'ago bagnato dal liquido, questo si allontana da quello, e si forma sotto l'ago una depressione: per la qual cosa il volume dell'acqua spostata è maggiore di quello che sarebbe quando il liquido bagnasse l'ago; onde è maggiore anche la perdita di peso da questo subìto. La medesima è la causa, per cui certi insetti di peso specifico maggiore di quello dell'acqua camminano con somma facilità sulla superficie di essa. Le loro zampe non sono bagnate dall'acqua, e per ciò il minisco dovuto alla capillarità li sostiene a galla.

151. Movimenti dovuti alla capillarità. — Quando si ponga entro ad un tubo conico di piccolissimo diametro un liquido, che ne bagni le pareti, questo si muove verso la base minore e non si ferma se non quando l'ha raggiunta; ma se il liquido bagna le pareti, esso si reca verso la base maggiore. Nel primo caso si formano in *a* e *b* (fig. 115) due superficie concave, e nel secondo due superficie convesse. Dove il tubo è più stretto, ivi più energica deve essere l'azione capillare; e perciò la pressione dall'interno all'esterno deve essere maggiore in *a* che in *b*, e la pressione dall'esterno all'interno più energica in *a'* che in *b'*; onde il liquido è costretto a muoversi nel senso delle frecce. Altri movimenti prodotti dalla capillarità si possono avere per mezzo di palline di sughero. Si abbiano quattro di queste, due delle quali si lascino senza alcuna preparazione, e le altre due si coprano di un sottile strato di negrofumo: le prime possono esser bagnate dall'acqua, ma non le seconde. Facciansi galleggiare le prime due *a*, *a* (fig. 116) sull'acqua: quando queste si trovino a distanza tale fra loro, che i minischi liquidi che formansi intorno a ciascuna di esse, si riuniscano, si vedranno le palline precipitarsi con forza l'una verso l'altra. Lo stesso avviene allorchè si pongono a galleggiare le altre due palline *b*, *b*, che non si fanno bagnare dall'acqua. Sarà poi il caso tutto contrario, se si facciano galleggiare una pallina capace di essere bagnata, ed un'altra che sfugga l'acqua; poichè queste nel momento, in cui i loro minischi si uniscono, si allontanano fra di loro. Tali fenomeni sono dovuti alla forma che assume il liquido in vicinanza dei corpi galleggianti. Se questi sono bagnati, allorchè si trovano vicini si solleva fra loro una certa quantità di liquido, il cui livello oltrepassa quello dei minischi esterni. La sottile lamina liquida, che si solleva a motivo della forza di coesione tende ad attenuarsi ascendendo, e siccome il liquido aderisce alla superficie delle palle, queste sono costrette ad avvicinarsi. Quando le palle non sono ben bagnate, si produce nell'intervallo, che le separa, un abbassamento di livello; quindi la pressione esterna predomina, e le palle anche questa volta sono spinte l'una contro l'altra. Nel terzo caso finalmente confondendosi i minischi, la superficie liquida intermedia deve assumere una forma di livello sinuosa, più elevata dalla parte *a*, meno dalla parte *b*. Viene da tale dislivello, che la pressione esercitata sulle palle dai minischi interni supera quella operata in direzione contraria degli esterni e per ciò le palle debbono fra loro allontanarsi.

CAPO VIII.

IMBIBIZIONE, FILTRAZIONE, FENOMENI DI OSMOSI

152. Imbibizione. — Si è poco fa veduto (150) che posto un pezzo di zuccaro nell'acqua, questa penetra in tutte le parti di esso, portandosi ad un'altezza maggiore della superficie di livello esterno: parimente una spugna immersa in un liquido s'imbeve di esso: un vaso poroso d'argilla fa trapelare il liquido che contiene per le sue pareti. Questi fenomeni sono dovuti alla capillarità, essendo le dette sostanze fornite di un grandissimo numero di canaletti più o meno regolari e stretti, nei quali s'introduce e si solleva il liquido discacciandone l'aria. Dicesi *imbibizione* un tal fenomeno. Molte sostanze vi sono, che poste nell'acqua, hanno la proprietà di assorbirne tanta quantità da rimanerne ben gonfie. Ciò non può dirsi che sia una semplice imbibizione, ma deve attribuirsi ad un'azione chimica, ad un'affinità speciale del corpo per il liquido, il quale penetrando tra le molecole di quello, le tiene ben lontane fra loro. Ad esempio la gelatina, le sostanze albuminoidi, gli elementi dei tessuti animali, allorchè sono secchi, se si pongono nell'acqua, si gonfiano, assorbendone una grandissima quantità. Secondo Liebig 100 grammi di vescica di bue diseccata assorbono 310 grammi di acqua distillata. Una soluzione di sal marino è assorbita dalla detta sostanza in tanta minore quantità, quanto maggiore è la quantità di sale che contiene. Così 100 grammi di vescica di bue hanno assorbito 288 grammi d'una soluzione contenente 9 per 100 di sale, e 219 grammi di una soluzione che ne conteneva 18 per 100. Notare poi si deve, che il liquido assorbito è meno ricco di sale della soluzione primitiva. Questo fatto avvertito per la prima volta da Bruke fu studiato da Ludwig, e produce per effetto un cambiamento di grado di concentrazione nella soluzione. Per dimostrar ciò sperimentalmente, si pone in due distinti recipienti di vetro una soluzione di cloruro di sodio satura a freddo, ed in uno di essi s'immerge un pezzo di vescica previamente diseccata. Dopo poco tempo si osserva, che mentre nel vaso contenente la sola soluzione questa rimane limpida, la soluzione nel vaso, in cui è immersa la vescica, si fa soprasàtura a cagione dell'acqua da quella assorbita; e per ciò una massa di piccoli cristalli si rende visibile.

153. Filtrazione. — Soventi volte avviene, che si debbano separare da un liquido le particelle solide, le quali sono ad esso mescolate. A tale scopo sopra ad un recipiente A (fig. 117) si pone

un imbuto B, entro cui si colloca un tessuto poroso C, o meglio della carta senza colla, che può essere considerata come costituita da un immenso numero di tubi capillari cortissimi e fra loro intrecciati: sopra questa carta si versa il liquido. Le sostanze solide in questa contenute, purchè non siano ridotte a polvere impalpabile, non possono passare per i detti meati; ma il liquido al contrario penetra ben presto in essi, e per la pressione esercitata dal fluido sovrastante i filetti liquidi giungono alla faccia opposta della carta, ed ivi si uniscono insieme per formare delle gocciole, che cadono nel sottoposto recipiente. A tale operazione dassi il nome di *filtrazione*. Allorquando le particelle solide abbandonate dal liquido sono abbondanti, vanno ad incrostare la carta, chiudono le bocche dei tubetti, e conseguentemente rendono più lenta la successiva filtrazione.

154. Filtrazione delle sostanze cristalloidi e colloidi. — La natura delle sostanze da filtrarsi influisce assai sulla durata della filtrazione. Le soluzioni saline e dei corpi che possono cristallizarsi, quali ad esempio sono l'urea e la creatina, e che Graham chiama sostanze *cristalloidi*, in pari circostanze si filtrano con più celerità delle soluzioni dei corpi non cristallizzabili, e che offrono della viscosità, come le soluzioni di gomma, di gelatina, d'albumina ecc., le quali sostanze sono da Graham chiamate *colloidi*. Schmidt ha studiata la filtrazione di questi diversi corpi attraverso ad una membrana animale ossia del pericardio d'un bue, e confrontando la quantità delle sostanze solide contenute nel liquido prima e dopo la filtrazione, ha ottenuti i seguenti risultati: 1° La parte filtrata contiene meno di una sostanza colloide, che il liquido versato sul filtro, perchè una parte di questa sostanza è trattenuta dal filtro stesso, cosicchè il quoto, il quale si ottiene dividendo il peso di detto corpo contenuto in un dato volume del liquido filtrato, per il peso del medesimo corpo contenuto in un egual volume del liquido primitivo, è una frazione vera. 2° Tale frazione diminuisce di valore, allorchè si filtra una soluzione meno concentrata di sostanza colloide, e quando si eleva la temperatura; ma viceversa cresce allorquando sul liquido si esercita una maggiore pressione. 3° Allorchè si filtra una soluzione di una sostanza cristalloide, la soluzione filtrata e quella da filtrarsi sono egualmente concentrate, il che indica che la sostanza cristalloide attraversa liberamente il filtro. 4° Se si assoggetta alla filtrazione una mescolanza di un corpo colloide e di un altro cristalloide, la parte filtrata contiene ancor meno di sostanza colloide di quello che conterrebbe, se quest'ultima fosse filtrata sola, ma è più ricca di sostanza cristalloide; la qual cosa è quanto dire, che l'unione delle due sostanze rende più difficile il passaggio al corpo colloide, e facilita quello del cristalloide.

155. Processo di filtrazione rapida. — Spesso la filtrazione d'un liquido è così lenta da esigere un ben lungo tempo. In questo caso si può di molto abbreviare la durata dell'operazione, aumentando la pressione esercitata nel liquido. A tal fine al collo d'una giara si attaccano quattro lunghe corde alle estremità di due diametri perpendicolari fra di loro, ed al detto collo si adatta un imbuto, entro cui si pone un filtro formato di un pezzo di tela, sopra al quale si colloca un foglio di carta senza colla. Sull'imbuto

si versa il liquido, e si chiude con un disco di vetro, che vicino alla circonferenza ha quattro fori equidistanti, per i quali passano le corde. Riunite insieme le estremità di queste, e tenute in mano, si fa rapidamente rotare l'apparato in modo di fionda. È la forza centrifuga quella, che comprime il liquido contro il filtro, e rende per ciò rapida la filtrazione; la carta non ostante la grande pressione non si rompe, perchè è sorretta dalla tela, a cui per questo scopo si unisce.

156. Fenomeni di osmosi. — Ai fenomeni, di cui si è parlato nel passato capitolo e nel presente, hanno somiglianza altri, che diconsi di *osmosi*, e che furono per la prima volta osservati da Dutrochet. Ecco in che consistono. Due liquidi, che indicheremo con A, B, siano fra di loro separati da un diaframma poroso di materia organica od inorganica. Si producono subito due correnti, l'una contraria all'altra, cioè parte del liquido A, attraversando il diaframma, va a mescolarsi col liquido B; e parte di questo, attraversando pure il diaframma, va a mescolarsi con A. In generale queste due correnti non sono eguali; ma uno dei due liquidi passa per il diaframma in maggior quantità, che l'altro. La corrente maggiore dicesi di *endosmosi*, la minore di *esosmosi*. Il descritto fenomeno si suole sperimentare con un apparecchio appellato *endosmometro*. Si abbia un imbuto di vetro V (fig. 118), al quale sia saldato uno stretto tubo pur di vetro M ricurvo in un estremo. Si chiude con un turacciolo l'estremità della parte ricurva, e si pone dentro all'imbuto e tubo annesso una soluzione acquosa di gomma arabica. Quindi si applica sulla bocca dell'imbuto e si fissa fortemente con una lista di guttaperca una pelle di vescica, od un pezzo di cartapecora fatta con intestino di bue. Si rovescia dopo ciò l'apparato, e si tiene immerso l'imbuto in un vaso R contenente acqua. Tolto il turacciolo dalla parte ricurva, ben presto si vede, che il livello del liquido interno si solleva poco a poco, e che dopo un certo tempo giunge all'estremo superiore, e quindi sgorga cadendo nel vaso C. È indubitato adunque l'acqua pura avere attraversato la membrana ed essersi unita alla soluzione di gomma. Analizzando poi l'acqua rimasta in R, si trova contenere essa un poco di gomma; per cui si conchiude, che la soluzione gommosa ha attraversato anch'essa la membrana, ma in minor quantità dell'acqua pura, cioè che vi è stata endosmosi dall'acqua alla soluzione, ed esosmosi da questa a quella. Se nell'endosmometro si mette l'acqua pura, e nel vaso R la soluzione di gomma, si avrebbe come prima l'endosmosi dall'acqua alla soluzione, ed il livello del liquido si abbasserebbe nel tubo.

157. Qualità dei liquidi necessarie per l'osmosi. — Generalmente parlando, l'endosmosi ha luogo dal liquido meno denso al più denso, e l'esosmosi in senso contrario. A questa regola fanno eccezione l'alcool e l'etere, i quali si comportano relativamente all'acqua, come fossero di essa più densi. Perchè poi fra due liquidi possano succedere i fenomeni di osmosi, debbono verificarsi queste condizioni: 1ª bisogna che i due liquidi siano di natura diversa, ma tali che si possano fra di loro mescolare: 2ª che siano di diversa densità: 3ª che il diaframma possa essere bagnato almeno da uno di essi.

158. Causa dell'osmosi. — Non sono in accordo i fisici nell'assegnare la causa dell'osmosi. Alcuni attribuivano i descritti fenomeni a correnti elettriche nate per le azioni chimiche esercitate dai liquidi; le quali correnti trasporterebbero da una parte all'altra le molecole di essi. Ma se la corrente elettrica produce l'endosmosi, da che nascerà l'esosmosi? Nè vale il dire, che due sono le correnti elettriche, una cioè di elettricità positiva, l'altra di elettricità negativa, delle quali una trasporta un liquido, l'altra in senso contrario l'altro: imperocchè quasi tutti i fisici hanno rinunciato di ammettere le correnti negative. Altri hanno ritenuto, che i suddetti fenomeni siano effetti di capillarità, essendo i pori della membrana tanti tubi capillari. Si rifletta però, che il liquido il quale penetra nella membrana si versa nella parte opposta, mentre noi abbiamo fatto vedere, che l'azione capillare non può mai produrre lo scolo (149). Altri seguono il Fusinieri, il quale ricorre al principio dell'espansione della materia attenuata (148). Secondo questo distintissimo fisico i pori della membrana altro non fanno, che ridurre il liquido penetrante in essi in tanti sottili cunei, dal cui vertice, secondo il detto principio, tende il liquido ad erompere, passando così alla parte opposta della membrana. Siccome poi l'espansibilità non è eguale per tutti i liquidi, così i due diversi fluidi non passano in egual quantità da una parte all'altra. Altri finalmente ricorrono a quest'altro principio. Su di una lamina bene polimentata si versi una gocciola di un liquido, che avendo affinità colla materia della lamina, si espande e prende la forma di un sottile strato. Sopra questo si faccia cadere una gocciola di un altro liquido, il quale abbia colla lamina un'affinità maggiore di quella, che colla medesima ha il primo. Ha luogo questo curioso fenomeno. Anche la seconda goccia si dispone in sottile strato, e questo, come fosse più pesante del primo, quantunque non lo sia, si va a porre aderente alla lamina, scacciando il primo strato, che si pone al disopra. Da ciò si deduce, che due liquidi collocati sopra una superficie in tal modo si dispongono, che quello il quale ha maggiore affinità per la materia, di cui quella superficie è costituita, ad essa si mette in contatto, mentre l'altro si pone al disopra del primo. Secondo questo principio l'endosmosi ed esosmosi avvengono così: ambedue i liquidi separati dalla membrana tendono a mescolarsi insieme, e perciò tendono a penetrare per i tubetti di essa ed a percorrerli da una parte all'altra: ma il liquido che più la bagna va ad occupare intorno intorno lo spazio aderente alle pareti del tubo, occupando l'altro liquido la parte centrale. Hanno adunque luogo una corrente anulare prodotta da un liquido, ed una corrente centrale in direzione opposta a quella della prima, e formata dal secondo liquido. Siccome poi lo spazio anulare ha una sezione maggiore della sezione del centrale, così la prima corrente deve essere maggiore della seconda.

159. Ascesa della linfa nelle piante. — Dutrochet ha spiegato coll'osmosi il sollevarsi della linfa nelle piante. L'acqua che bagna le radici di queste penetra nelle cellule in grande quantità, mentre il contenuto in esse penetra attraverso delle loro sottilissime pareti in piccolissima quantità. Avviene ciò in un grandissimo numero di cellule e di vasi, che sono pure limitati da membrane, ed in tal

modo viene ad effettuarsi l'ascensione dei liquidi in questi ultimi. Si avverta però, che l'ascensione dei liquidi nelle piante è molto considerevole, e succede con grande forza specialmente quando in primavera si sviluppano i bottoni. È celebre il seguente esperimento fatto sulla vite, mentre geme. Si tagli un tronco di vite ad una certa altezza, ed alla parte tagliata si adatti un tubo di vetro doppiamente ricurvo, e contenente mercurio nella sua curva inferiore. La linfa esce dalla vite con tanta forza, che il mercurio è spinto e sollevato entro al tubo ad un'altezza tale da rappresentare col suo peso una fortissima pressione. Nou è credibile, che una forza d'ascensione così grande possa attribuirsi alla sola osmosi: ma forse la detta ascensione è l'effetto di varie cause insieme cospiranti ed unite.

160. Osmosi attraverso sostanze inorganiche. — Si sono fatte ricerche intorno all'osmosi effettuata attraverso a sostanze inorganiche come pareti di argilla, pellicole solide di collodion ecc. Fick ha studiato gli scambii, che succedono per una parete di argilla fra soluzioni di sal marino ed acqua pura. Ha veduto, che l'intensità della corrente del sale verso l'acqua pura è proporzionale esattamente alla concentrazione della soluzione salina impiegata, cosicchè in parità di circostanze, se si adopra una soluzione due o tre volte più concentrata, la parete lascia passare una quantità di sale due o tre volte più grande. La corrente inversa dell'acqua pura, la quale è la più intensa, non è proporzionale alla concentrazione, ma per le soluzioni molto diluite è più intensa che per le concentrate. Si ha il minimo quando la soluzione contiene il 3 per cento di sale, e se quindi si aumenta la quantità di questo, si aumenta ancora la corrente di acqua pura, che addiviene presso a poco proporzionale alla concentrazione della soluzione salina.

161. Dialisi. — Abbiamo veduto (154), che mescolando insieme una soluzione d'una sostanza colloide con un'altra di sostanza cristalloide, e posta la miscela in un filtro, la prima non l'attraversa, ma aiuta la filtrazione dell'altra. Su questo principio Graham ha basato un metodo per separare un corpo colloide da un cristalloide. Si prenda un piccolo tamburo a pareti solide, il cui fondo sia formato di pergamena vegetale, ossia di carta senza colla tuffata nell'acido solforico e poi diseccata. Il detto tamburo si pone a galleggiare nell'acqua distillata, e vi si versa una mescolanza di due soluzioni, una contenente un corpo cristalloide, ad esempio l'urea, e l'altra un corpo colloide, ad esempio l'albumina. Il cristalloide passa nell'acqua distillata attraversando la carta vegetale, ed il colloide resta nel tamburo. L'apparecchio si appella *dializzatore*, e l'operazione *dialisi*. Per giungere ad una separazione la più completa possibile, bisogna rinnovare di tempo in tempo l'acqua distillata, e quindi farla evaporare per raccogliere il corpo cristalloide, che in essa è passato. La dialisi è ancora favorita dalle seguenti condizioni. 1ª È necessario dare molta estensione al fondo del dializzatore: 2ª È bene porre il liquido più pesante entro al tamburo e l'altro al difuori: 3ª Si deve sospendere il tamburo ed immergerlo nel liquido sottoposto tanto, che non sia il suo fondo premuto più dal basso in alto, che dall'alto al basso, o viceversa: 4ª Si è in fine riconosciuto, che l'elevazione di temperatura e l'agitazione frequente del dializzatore accelerano l'operazione.

PNEUMATICA

CAPO I.

PESO DELL'ATMOSFERA

162. Elasticità dei gas. — Abbiamo fin da principio notato (3), che nei corpi gasosi tanta è la forza ripulsiva, la quale tra le molecole si esercita, da vincere totalmente l'attrazione molecolare: dal che nasce, che i gas tendono ad espandersi e a diradarsi sempre più. È a questa forza di espansione che dassi il nome di *forza elastica* o di *tensione elastica*. S'immagini di avere un tubo d'altezza indefinita, entro al quale possa muoversi uno stantuffo. Posto questo ad una piccola distanza dal fondo, si chiuda al disotto dell'embolo una massa gasosa. Se si solleva un poco alla volta lo stantuffo, non si avrà mai sotto di esso il vuoto, poichè il gas per la forza elastica si dilaterà sempre più, andando così a riempiere lo spazio lasciato libero dallo stantuffo. Dal che viene, che per far conservare ad un gas un determinato volume è necessario tenerlo racchiuso in un recipiente a pareti inestensibili, nel qual caso il gas, per la tendenza che ha di espandersi, esercita una pressione sulle dette pareti: la qual pressione riferita all' unità di superficie serve di misura della tensione elastica del corpo gasoso.

L'espansione d'un gas ha un limite? Sicuramente. Invero nel tubo, di cui abbiamo poco fa parlato, si osserva, che via via che si solleva l' embolo va scemando la pressione del gas esercitata contro esso e contro le pareti del tubo, la qual cosa indica l'elasticità del gas andare scemando col diradarsi di esso. Ciò avvertito, si rifletta, che mentre la forza espansiva tende a spingere in alto le molecole del gas, onde vadano ad occupare lo spazio lasciato libero dallo stantuffo; la gravità che, come vedremo (164), si esercita anche sulle molecole dei gas, tende a farlo tornare in basso, opponendosi in tal modo alla forza espansiva. Siccome adunque l'elasticità va scemando, e più assai di quello che diminuisca la gravità; si dovrà giungere ad un punto, in cui quella si equilibra con

questa, e quando ciò avvenga, il gas deve cessare di espandersi. Se si potesse osservare un gas giunto a questo limite estremo di rarefazione, si vedrebbe godere della proprietà dei liquidi, cioè le sue molecole non più si respingerebbero, ma scivolerebbero le une sulle altre.

163. Principio di Pascal applicato ai gas. — Avendo i gas le molecole fra di loro disciolte più d'assai di quello che lo sono nei liquidi; dovrà nei corpi gasosi verificarsi come neil iquidi (86) il principio di Pascal, che cioè la pressione esercitata su di una parte qualunque di una massa gasosa si trasmette egualmente in tutte le direzioni. Si può ciò dimostrare nell'istesso modo, con cui fu sperimentato nei liquidi, facendo che il vaso M (fig. 59) contenga una massa gasosa, e badando che gli stantuffi siano a tenuta di aria.

164. Peso dell'atmosfera. — I gas e l'aria atmosferica sono pesanti come tutti gli altri corpi, il che così si può rendere manifesto. Si estrae l'aria da un grosso matraccio per mezzo della macchina pneumatica (191), e si pone sopra ad un piatto della bilancia, equilibrandolo con pesi noti. Girata la chiavetta, di cui è fornito il matraccio, e fatta così rientrare in questo l'aria od un altro gas qualunque, si vede che l'equilibrio rimane turbato, ed il peso, che devesi aggiungere nell'altro piatto per ristabilire l'equilibrio, sarà quello d'un volume di aria o gas corrispondente alla capacità del vaso.

165. Esperimento di Galileo. — Gli antichi non conoscevano, che l'aria fosse pesante, e se qualche filosofo dell'antichità ne ha avuto qualche dubbio, nessuno al certo prima di Galileo ne ha saputo dare una prova di fatto. Fu circa l'anno 1640, che egli dette una tal prova. Si fece a riflettere, che se l'aria è pesante, più questa si addensa, più deve crescere il suo peso. Avendo pertanto pesato esattamente un recipiente pieno d'aria alla naturale densità ne iniettò nell'istesso vaso un'altra notevole quantità; e ripesato il recipiente, vide che il peso era realmente aumentato. Galileo calcolò che l'aria pesassse circa 400 volte meno dell'acqua; ma ora coll'uso della macchina pneumatica si prova, che sotto la pressione di 76 centimetri ed alla temperatura zero l'aria ha un peso 770 volte minore di quello dell'acqua, ossia che il suo peso è circa un chilogrammo ed un terzo per ogni metro cubo.

166. Esperimento di Torricelli. — Che poi l'aria sia pesante, e che per conseguenza eserciti una pressione sopra i corpi, su cui poggia, fu posto fuori di controversia da Torricelli allievo di Galileo. Si sapeva, che se un tubo munito di stantuffo venga messo con un estremo entro all'acqua, e si sollevi lo stantuffo, l'acqua ascende per il tubo; al quale fenomeno si assegnava per causa l'orrore della natura per il vuoto. Si vide poi che tale ascesa dell'acqua nel vuoto non oltrepassava mai un'altezza di 10 metri. Torricelli pensando a ciò, conobbe, che la causa dell'ascesa di un liquido nel vuoto altro non era se non il peso dell'aria atmosferica. Egli così ragionava: se l'aria pesa e preme sui corpi, ne deve venire, che fatto il vuoto in un tubo avente un estremo immerso nell'acqua, questa debba ascendere per il tubo suddetto spintavi dalla pressione, che

l'aria esercita sulla superficie dell'acqua esterna, pressione, che per il principio di Pascal (86) deve trasmettersi in tutte le direzioni, e per ciò anche dal basso in alto. Dovrà però quest'ascesa essere illimitata? Non già; ma allora deve cessare, quando il peso della colonna liquida sollevata avrà fatto equilibrio alla pressione dell'aria atmosferica. Ond'è, che se l'acqua non ascende nel vuoto oltre ai 10 metri, ciò deve ripetersi da che l'atmosfera fa una pressione equivalente a quella, la quale è prodotta da una colonna d'acqua alta 10 metri. Rifletteva poi Torricelli, che se facciasi l'esperimento con un liquido più pesante dell'acqua, tanto meno dell'acqua deve tal liquido ascendere nel vuoto, quanto più grande è la sua densità; e siccome il mercurio ha un peso specifio 13, 6 volte maggiore di quello dell'acqua, così esso non deve ascendere nel vuoto che ad un'altezza di circa 76 centimetri. L'esperienza dimostrò giusto il ragionamento di Torricelli. Prese egli un tubo di vetro lungo circa un metro, chiuso in un estremo ed aperto nell'altro. Empitolo di mercurio, lo chiuse con un dito, lo rovesciò, ed immerse l'estremo in un vaso contenente pure mercurio. Rimosso dopo ciò il dito, vide il mercurio discendere alquanto nel tubo, ed arrestarsi in questo all'altezza di circa 76 centimetri, lasciando sopra di sè uno spazio vuoto. Nell'anno stesso, in cui avvenne questa celebre scoperta di Torricelli, un altro italiano, Claudio Beriguardi, fece delle osservazioni, che confermarono in modo luminoso la teoria torricelliana. Egli rifletteva, che se la colonna di mercurio nell'apparato di Torricelli è sostenuta dalla colonna atmosferica; portando l'istrumento in alto, si doveva vedere la colonna mercuriale alquanto discendere, perchè abbreviandosi la colonna atmosferica, deve scemare la pressione di questa. Si portò Beriguardi sulle montagne della Toscana, e verificò, che più esso ascendeva in alto, tanto più diminuiva l'altezza del mercurio nel tubo torricelliano. Questo esperimento fu ripetuto in Francia cinque anni dopo da Pascal, al quale è rimasta la gloria dovuta al Beriguardi.

167. Altre prove del peso dell'aria. — Dopo l'invenzione della macchina pneumatica si è data altra prova inconcussa della teoria di Torricelli. Nella sommità d'una campana di vetro vi sia un foro, per il quale sporga fuori una parte del tubo torricelliano, il cui recipiente pieno di mercurio trovisi dentro alla detta campana. Il foro da cui sporge il tubo sia a perfetta tenuta d'aria. Applicato quest'apparecchio al piatto d'una macchina pneumatica, via via che si produce con questa il vuoto, si vede che la colonna mercuriale discende. Che se invece di rarefare l'aria nella campana, vi si addensa, si vede la colonna di mercurio ascendere sempre più nel tubo.

L'apparato di Torricelli è detto *barometro*; lo spazio nel tubo, che rimane vuoto, si appella *camera barometrica* o *vuoto torricelliano*, ed *altezza barometrica* la differenza di livello del mercurio interno ed esterno.

168. Pressione media dell'atmosfera. — L'aria non esercita sempre una medesima pressione, come dirassi in appresso (177), e per conseguenza l'altezza barometrica non si mantiene sempre la stessa in un medesimo luogo, ma ora cresce, ora diminuisce. Al

livello del mare l'altezza media barometrica è di 76 centimetri; per il che al livello del mare la pressione esercitata dall'atmosfera sopra una superficie di un centimetro quadrato è equivalente al peso di una colonna di mercurio d'un centimetro quadrato di base, e di 76 centimetri d'altezza, ossia è equivalente al peso di 76 centimetri cubi di mercurio. Essendo il peso specifico del mercurio 13, 6, e pesando un centimetro cubo di acqua un grammo, un centimetro cubo di mercurio deve pesare grammi 13, 6, e per conseguenza il peso di 76 centimetri cubi di questo metallo è grammi 1033, 6 cioè circa un chilogramma. Può adunque ritenersi, che a livello del mare, o ad altezze poco superiori a questa la pressione esercitata dall'aria sopra un centimetro quadrato di superficie vale un chilogramma.

La detta pressione media dell'atmosfera al livello del mare dicesi *pressione di un'atmosfera*, e perciò quando si asserisce, che un corpo soffre una pressione di due, tre..... atmosfere, deve intendersi, che la pressione subìta dal corpo è eguale a quella prodotta da una colonna di mercurio alta due, tre..... volte 76 centimetri. In generale le pressioni si sogliono misurare a centimetri e millimetri, e quando si dice, ad esempio, che la pressione esercitata da un gas è di 50 millimetri, si deve intendere, tale pressione essere eguale al peso di una colonna di mercurio avente per base la superficie premuta e per altezza 50 millimetri, in modo che se in quel gas si trovasse immerso un barometro, di 50 millimetri sarebbe l'altezza della sua colonna mercuriale.

169. Influenza della pressione atmosferica sull'economia animale. — Essendo la superficie del corpo umano di circa un metro quadrato e mezzo ossia di 15000 centimetri quadrati, esso deve subire dall'atmosfera una pressione di 15000 chilogrammi. Così grande pressione non gli sarà di nocumento? Non già, ma anzi gli giova. Nell'organismo degli animali ed in particolare dell'uomo vi sono delle cavità totalmente prive di aria, ed altre che ne contengono. Ad esempio, tra le superficie degli ossi, che sono fra di loro a contatto nelle articolazioni, non vi è affatto aria atmosferica, che neutralizzi la pressione dell'aria esterna. Quindi è, che quest'ultima mantiene i detti ossi a contatto senza che vi sia di bisogno di sforzi muscolari, i quali per conseguenza possono tutti impiegarsi a far muovere le membra, rimanendo così facilitato il moto nelle articolazioni. Questa verità fu sperimentalmente dimostrata dai Weber. Si taglino tutti i muscoli, i ligamenti e parte della capsula, che riuniscono il collo del femore alle pareti del bacino. La testa dell'osso rimane internata nella cavità cotiloide, e può sostenere tutto il membro inferiore. Se però con una punta si fora dalla parte interna del bacino il fondo della cavità cotiloide, il membro inferiore cade immediatamente. È poi cosa facile il valutare la pressione, che l'atmosfera esercita sulla testa del femore. Il diametro della sfera, a cui appartiene questa estremità ossea, nell'uomo ha la lunghezza di 5 centimetri circa, e per ciò il cerchio massimo di detta sfera, a cui riducesi la parte premuta dall'aria contro la cavità, ha una superficie, che secondo la nota formula $s = \pi r^2$ è di centimetri quadrati 19, 6, la qual superficie moltiplicata per

chil. 1,033, pressione dell'atmosfera in un centimetro quadrato, ci dà la pressione esercitata dalla testa del femore contro la cavità cotiloide espressa da chil. 20,24. Tutte le cavità perfettamente chiuse del corpo umano, quali sarebbero la cavità addominale e la toracica, sono spazii privi d'aria. Le pareti dell'addome essendo flessibili, si mettono a contatto dei visceri in esso contenuti, e quindi per mezzo di questi la pressione atmosferica esercitata sulla pancia si trasmette alla faccia inferiore del diaframma, e l'obbliga a prendere la forma di una volta colla convessità diretta in alto. La cassa toracica è al contrario a pareti rigide e resistenti, le quali difendono dalla pressione atmosferica la superficie esterna dei polmoni. Essendo questi in comunicazione coll'atmosfera per mezzo dei bronchi e della trachea, la pressione atmosferica si esercita in tutta la sua forza sulla superficie interna dei medesimi. Tale disposizione ha per effetto di tenere costantemente i polmoni tanto dilatati, quanto lo comporta la capacità del petto, che vanno per ciò ad empire, e di obbligare quest'organo a seguire i movimenti respiratorii del torace. Ha ancora la pressione atmosferica parte nella circolazione sanguigna; imperocchè favorisce lo scolo del sangue dalle vene superficiali, spingendolo verso la cavità toracica, ove a ciascuna espirazione la pressione atmosferica sui vasi che vi sono contenuti subisce una diminuzione. Finalmente il peso dell'aria coadiuva la forza, colla quale le pareti dei vasi capillari resistono alla tensione del sangue.

Se adunque la pressione atmosferica è necessaria al corpo umano, ne viene, che questo deve ricevere danno da una grande diminuzione di quella; e difatti coloro i quali ascendono nelle alte montagne, e più quelli, che si elevano coi globi aerostatici, provano un grande malessere. Si gonfiano le loro vene, si rompono i capillari, onde nascono emorragie dai polmoni, dal naso ecc. Nell'ascensione poi delle montagne vi è un altra causa, che aggrava il male, e di cui in altro luogo (645) avremo a parlare.

170. Esperimenti di Triger. — Se l'uomo non può reggere ad una pressione atmosferica troppo debole, regge però senza grave danno ad una molto forte. Triger ha fatte delle osservazioni in una miniera sotto la Loira, dove gli operai si trovavano nell'aria fortemente compressa: e da queste osservazioni ha ottenuti i seguenti risultati. 1° L'uomo può vivere e lavorare anche sotto la pressione di tre atmosfere: 2° passando dall'aria libera alla compressa, si prova un dolore agli orecchi, il quale dolore alcuni individui provano invece nell'escire dall'aria compressa: 3° la combustione in mezzo a questa è più veemente, che nell'aria libera a cagione della maggiore quantità d'ossigeno che si mette a contatto colla materia combustibile: 4° nell'aria compressa a tre atmosfere l'uomo non può più fischiare, il che non avviene a pressioni minori; 5° Nell'aria compressa tutti parlano con voce nasale: 6° qualche sordo collocato nell'aria compressa percepisce meglio i suoni, che gli altri. Si può a tutto ciò aggiungere, che aprendo un rubinetto, il quale faccia escire l'aria che è addensata in una camera, le persone che in questa si trovano provano un senso di freddo a motivo del calore, che si converte in lavoro meccanico, diradando l'aria (627), e si

forma una densa nebbia, perchè il vapore acqueo invisibile, per l'avvenuto abbassamento di temperatura si addensa e fassi visibile (726). Deve finalmente notarsi, che sotto a grandi pressioni vivono e si muovono i palombari, e sotto più grandi ancora i pesci, che popolano le profonde regioni del mare; ove oltre la pressione atmosferica vi è quella dell'acqua sovrastante, la qual pressione cresce d'un'atmosfera ad ogni 10 metri circa di profondità (166).

CAPO II.

DEL BAROMETRO

171. Barometro a vaschetta. — Il barometro è una delle più utili macchine fisiche, onde merita che torniamo a parlare di esso per indicare le principali sue forme, e gli usi del medesimo. I barometri si sogliono distinguere in *fissi* e *portatili*. Alla prima classe appartengono i barometri a *pozzetto*, a *sifone*, a *quadrante*, alla seconda i barometri di Fortin e di Gay-Lussac. Il barometro a pozzetto è precisamente l'apparecchio dell'esperienze di Torricelli (166), e consiste nel tubo torricelliano fisso in una tavola, e che essendo stato empito di mercurio, dopo di averlo rovesciato, è stato immerso coll'estremo aperto in una vaschetta contenente pure mercurio. Adiacente al tubo sulla tavoletta avvi una scala graduata in centimetri e millimetri, il cui zero deve corrispondere alla superficie di livello del mercurio nella vaschetta. Qui si deve notare, che essendo data l'altezza barometrica dalla differenza di altezza della superficie di livello interna ed esterna del mercurio, bisogna sempre riportare lo zero della scala al livello del mercurio nel pozzetto, il quale livello si deprime o s'innalza, secondo che si eleva o si abbassa la colonna nel tubo. Giova pertanto fare la scala mobile in modo di potere in ogni osservazione portare lo zero della scala al debito punto.

172. Barometro a sifone. — Il barometro a sifone consiste in un tubo di vetro piegato in modo, che abbia due rami rivolti in alto e paralleli, dei quali uno sia più lungo e chiuso nell'estremo superiore, e l'altro più corto ed aperto. L'aria premendo sulla superficie del mercurio collocato in detto tubo, obbliga questo liquido ad ascendere nell'altro ramo, in cui vi è il vuoto. L'altezza della colonna barometrica è data dalla differenza di altezza dei due livelli. Si suole fare la scala col porre lo zero a circa la metà della colonna

mercuriale, e scrivere due graduazioni, che partano dallo zero una ascendente, discendente l'altra. Si osserva a qual grado corrisponda nella scala ascendente la superficie di livello del ramo più lungo, e a quale nella scala discendente la superficie del liquido del ramo più corto; la somma di questi gradi dà l'altezza barometrica.

173. Barometro a quadrante. — Il barometro a quadrante è uno a sifone (fig. 119), il cui braccio minore si suol fare di diametro più grande di quello dell'altro. Sul mercurio del ramo più corto avvi un galleggiante, che si alza e si abbassa secondo che si alza e si abbassa la superficie del mercurio nel ramo suddetto. Al galleggiante sta unito l'estremo d'un filo, il quale si accolla ad una carrucola fissa, e porta un pesetto attaccato all'altro estremo, cosicchè la detta puleggia gira sull'asse suo o da una parte o dall'altra ogni qual volta la colonna di mercurio ascenda o discenda. Un indice annesso alla puleggia segna su di un quadrante i movimenti del mercurio.

174. Barometro di Fortin. — Il barometro da tutti attribuito a Fortin è stato ideato dall'italiano Origo e consiste in un barometro a vaschetta, il cui fondo è mobile per essere formata la detta vaschetta da un vaso cilindrico di vetro, che termina in basso con una insacca di pelle di bufalo. Questo fondo poi può essere innalzato od abbassato per mezzo di una lastrina di metallo, che è tirata in alto od in basso da una vite di pressione. In tal modo si potrà in ogni osservazione senza rimuovere la scala portare la superficie di livello del mercurio della vaschetta allo zero, il qual punto è notato dalla cuspide di un piccolo cono di avorio rivolto all'ingiù ed annesso al coperchio del serbatoio. Questo coperchio ha un forellino, che permette l'entrata all'aria, e che si chiude con uno spillo affilato nell'atto, in cui l'istrumento si trasporta da un luogo ad un altro. Quando si abbia a fare un tale trasporto, si comincia dall'inclinare un poco alla volta l'istrumento, spingendo contemporaneamente in alto il fondo della vaschetta, in modo che in fine il mercurio empia totalmente il tubo. Così non vi sarà pericolo di rottura per causa dell'agitazione del liquido nel viaggio, nè potrà avvenire, che l'aria atmosferica penetri nella camera barometrica.

175. Barometro di Gay-Lussac. — Gay-Lussac ha ideato un altro barometro portatile, che costa di due tubi AB, CD (fig. 120) di egual diametro, disposti in una medesima verticale, e comunicanti fra loro per mezzo di un tubo capillare piegato come vedesi in figura. L'estremità superiore di AB è chiusa, e quella di CD ha un piccolo forellino laterale *a* a pareti rientranti, per il quale l'aria esterna comunica coll'interna del tubo CD, e fa pressione sul mercurio in esso contenuto, tenendolo sollevato nel tubo AB. È annessa all'apparato la doppia scala come nel barometro a sifone. Quando si vuole trasportare l'istromento, si rovescia, ed allora il mercurio si dispone, come vedesi in A'F'C'. La sottigliezza del tubo capillare E impedisce il passaggio all'aria, che potrebbe introdursi nella camera barometrica nel riporsi l'apparecchio nella sua normale posizione. Per eliminare sempre meglio tale pericolo Bunter ha modificato il descritto barometro col fare, che il tubo capillare, il quale parte dal tubo inferiore (fig. 121), abbia un rigonfiamento PN,

entro cui penetra e si prolunga il ramo capillare superiore, il quale prolungamento è assai affilato e termina in basso con una piccolissima apertura. Se nel capovolgere il barometro un poco d'aria si facesse strada nel tubo capillare per salire verso il vuoto, giunta nel rigonfiamento PN, non potrebbe internarsi nella piccola bocca, che presenta il tubo capillare superiore, ma resterebbe prigioniera in PN senza portare alcun danno all'apparato.

176. Barometri metallici. — Oltre ai barometri a mercurio, di cui fino ad ora abbiamo parlato, ve ne sono altri tutti solidi, e che si appellano *aneroidi*. Il più comune di questi è formato di una scatola piena d'un gas, ermeticamente chiusa, ed il cui coperchio è costituito da una lamina metallica molto elastica. Se la pressione atmosferica viene a diminuire, il gas interno si espande, e rende il coperchio convesso all'esterno, e questo al contrario addiviene concavo quando la pressione dell'aria aumenta. Lo spostamento, che subisce la parte centrale del coperchio viene trasmesso da un sistema di leve ad un asse orizzontale, che porta un indice, il quale va a segnare i gradi di pressione in un quadrante. Di consimile genere è il barometro di Bourdon. Abbiamo detto in altro luogo (132), che introdotto un liquido od un gas in un tubo metallico elastico e piegato ad arco, e fatta una pressione nel liquido o gas, tale pressione, che il fluido trasmette alle pareti del tubo, tende a distenderlo e a rettificarlo. Sia però il tubo vuoto d'aria, chiuso ermeticamente, ed immerso in un liquido o gas, da cui sia premuto. Avvenendo in questo caso la pressione non più nelle pareti interne del tubo, ma nelle esterne, ne verrà che un aumento di pressione farà di più curvare il tubo, il quale per la sua elasticità si appianerà alquanto, allorchè la pressione viene a diminuire. Ciò notato, diciamo che il barometro di Bourdon consiste in un tubo *amb* (fig. 122) eguale a quello, di cui ora si è parlato. Esso è fisso in *m* ed i suoi estremi *a*, *b* per mezzo di due asticelle metalliche sono congiunti uno col braccio *f*, l'altro col braccio *g* di una leva di primo genere girevole intorno al punto fisso *o*, la qual leva all'estremo del braccio *g* porta un arco dentato, i cui denti s'incastrano con quelli d'un rocchetto *v*, all'asse del quale sta annesso un indice *xy*. Aumentandosi la pressione atmosferica, s'incurva di più il tubo, e quindi l'indice piega alla nostra destra, ma esso si volgerà a sinistra quando diminuendosi la pressione dell'aria, il tubo si dispiega.

177. Usi del barometro. — Il barometro serve a misurare la pressione nell'atmosfera, e serve ancora a misurare la differenza di altezza di due luoghi. Difatti abbiamo veduto (166), che portando in alto un barometro, la colonna di mercurio si abbassa, perchè quanto più ci discostiamo dal suolo tanto più decresce l'altezza della colonna d'aria sovrastante, e quindi anche la pressione da questa esercitata. Vi è adunque una connessione tra l'altezza barometrica, e l'altezza di un luogo, cosicchè da quella può questa dedursi. Se l'aria conservasse una medesima densità fino al limite estremo dell'atmosfera, la diminuzione dell'altezza della colonna barometrica sarebbe proporzionale all'altezza del luogo, in modo che un punto, in cui l'altezza della colonna mercuriale si fosse

ridotta alla metà di quella, che si osserva nel barometro a livello del mare, si troverebbe alla metà di tutta l'altezza dell'atmosfera. Ma questa costante densità dell'aria in verun conto si verifica; poichè ciò esigerebbe, che i gas fossero poco compressibili, come lo sono i liquidi. I gas invece si comprimono molto (8), e per la legge di Boyle e Mariotte, che esporremo in seguito (179), la loro densità è proporzionale al peso, che li comprime. Due cause adunque concorrono a diminuire la pressione atmosferica, e conseguentemente l'altezza barometrica via via che ci portiamo in alto, cioè prima il diminuire dell'altezza della colonna d'aria sovrincombente, e seconda la diminuzione della densità degli strati aerei causata dal decremento del peso, che li comprime. La densità dell'aria dipende ancora dalla temperatura, la quale per ciò deve prendersi a calcolo, allorchè si vuole col barometro misurare l'altezza di un luogo. Colla matematica si è potuto costruire una formola, mediante la quale, conosciuta l'altezza h della colonna barometrica in una stazione, la cui temperatura sia t, e conosciuta la temperatura T del mercurio, la quale è indicata da un termometro annesso al barometro, e note ancora h', t', T' altezza della colonna barometrica, temperatura dell'aria e temperatura del mercurio in una seconda stazione, si viene a conoscere la diversità di altezza delle due stazioni. Questa formola è la seguente.

$$z = \text{metri } 18393\left(1+\frac{t+t'}{500}\right)\times \text{Log.}\frac{h}{h'\left(1+\frac{T-T'}{5412}\right)}.$$

Insegna poi l'esperienza, che l'altezza della colonna barometrica non solo varia da un luogo all'altro a motivo della diversa loro altezza dal livello del mare; ma cambia in un medesimo luogo. Generalmente parlando allorchè in un luogo cresce la pressione atmosferica, il cielo si fa sereno; ma facilmente si ha la pioggia o la tempesta, quando la detta pressione decresce. Tale connessione tra l'altezza barometrica e lo stato del cielo ha varie cause. Allorchè un vento del sud viene a riscaldare la colonna di aria sovrincombente ad un luogo, essa colonna si dilata, e si allunga: ma la parte superiore eccedente non può mantenersi elevata sopra la superficie dell'aria circonvicina; quindi è che la detta colonna aerea rimane della medesima altezza di prima, ma è rarefatta e per ciò meno pesante. Quando adunque spirano i venti meridionali la colonna barometrica si abbassa; ed essendo i venti suddetti umidi, facilmente portano la pioggia. Il contrario deve dirsi, se spira un vento freddo del Nord. La stessa presenza di molto vapore nell'aria la rende meno pesante e cagiona un abbassamento nel barometro, perchè la massa del vapore acqueo discaccia una parte d'aria, ed esso vapore, che ne prende il posto, è più leggiero dell'aria stessa (524).

178. Correzioni barometriche. — Se si tratti di delicate osservazioni, è necessario di fare delle correzioni nel leggere l'altezza barometrica. In primo luogo deve portarsi lo zero della scala alla superficie di livello del mercurio nel pozzetto, come si disse di sopra (171). Secondariamente siccome il calore dilata il mercurio,

e quindi tende a rendere la colonna mercuriale più alta del dovere; è necessario riportarla all'altezza, che avrebbe alla temperatura zero, e si vedrà in altro luogo, come ciò possa farsi (576). Finalmente se il tubo torricelliano è di diametro minore di due centimetri, ed il barometro non sia a sifone coi rami di eguale calibro, il mercurio entro al tubo avrà la superficie libera convessa, e per ciò la colonna liquida sarà meno alta di quello che esiga la pressione atmosferica (148). Ridotta pertanto la colonna mercuriale alla temperatura zero, bisogna aggiungere alla sua altezza una quantità, la quale, conosciuti il diametro del tubo, e la lunghezza della freccia del minisco convesso, che si misura con un catetometro, si rinviene nella seguente tavola.

ALTEZZA DELLA FRECCIA in millimetri	DIAMETRO DEL TUBO IN MILLIMETRI					
	4	6	8	10	12	14
0,2	0,60	0,24	0,12	0,07	0,04	0,02
0,4	1,16	0,48	0,24	0,13	0,07	0,04
0,6	1,65	0,70	0,35	0,19	0,11	0,07
0,8	2,05	0,90	0,46	0,25	0,14	0,09
1,0	2,34	1,07	0,55	0,31	0,18	0,11
1,2	»	1,21	0,64	0,35	0,21	0,12
1,4	»	1,32	0,71	0,40	0,23	0,14
1,6	»	»	0,77	0,44	0,25	0,15

CAPO III.

COMPRESSIBILITÀ DEI GAS

179. *Legge di Boyle e Mariotte* — 180. *Limiti della medesima* — 181. *Esperimenti di Regnault* — 182. *Applicazioni della detta legge* — 183. *Provino* — 184. *Manometro ad aria libera.* — 185. *Ad aria compressa* — 186. *Manometro di Bourdon* — 187. *Principio d'Archimede applicato ai gas* — 188. *Aerostati.*

179. Legge di Boyle e Mariotte. — I gas sono in sommo grado compressibili; onde assoggettati ad una pressione si addensano. È assai celebre la legge di Boyle e Mariotte sulla compressibilità dei gas, la quale è così formulata: i volumi di un gas sotto varie pressioni sono nella ragione inversa dei pesi comprimenti, e per ciò le densità

sono proporzionali ai detti pesi. Per dimostrare sperimentalmente questa legge rapporto alle pressioni maggiori d'un'atmosfera, si opera nel seguente modo. Si abbia un lungo tubo di cristallo ripiegato a sifone, il cui braccio minore, chiuso in alto, è graduato in parti di eguale capacità interna, e contiene il gas che si vuole comprimere, mentre il braccio più lungo è aperto. Si comincia col versare dentro al tubo una piccola quantità di mercurio, facendo in modo, che questo si elevi egualmente nei due rami. Sarà chiaro che in questo caso il gas racchiuso sostiene la pressione di una atmosfera. Si versi dopo ciò un poco alla volta altro mercurio nel ramo più lungo: questo col suo peso comprimerà il gas, e l'obbligherà a diminuire di volume. Allorchè il gas sarà ridotto alla metà del volume primiero, il dislivello del mercurio nei due rami si troverà essere di 76 centimetri; ond'è che il peso comprimente sarà di due atmosfere. Il dislivello suddetto sarà di centimetri 2×76, 3×76..: quando il volume del gas troverassi ridotto al terzo, al quarto... del primitivo; il che manifestamente ci dice, essere i volumi del gas nella ragione inversa dei pesi comprimenti. Per dimostrar poi, che la medesima legge ha luogo ancora quando i pesi comprimenti sono minori di una atmosfera si fa l'esperimento in quest'altro modo. In un vaso cilindrico stretto, ma alto e quasi pieno di mercurio s'immerge capovolto un tubo barometrico empito preventivamente del medesimo liquido. Si fa penetrare in questo tubo una piccola quantità di gas, che anderà ad occupare la parte superiore. S'immerga più o meno il tubo nel mercurio del recipiente, finchè non vedesi la superficie interna del mercurio coincidere con quella esterna. È manifesto, che in questo caso il gas subisce la semplice pressione dell'aria esterna, che spinge il liquido a sollevansi nel tubo. Il gas adunque in questa disposizione di cose sostiene la pressione di un'atmosfera. Dopo ciò si sollevi un poco alla volta il tubo; ed allora si dilaterà il gas racchiuso, decrescerà la forza elastica del medesimo, e per conseguenza prevalendo sulla detta tensione la pressione esterna dell'atmosfera, questa obbligherà il mercurio ad ascendere nel tubo, ed a sollevarsi sopra il livello esterno. Si sollevi tanto il tubo, che il gas occupi uno spazio doppio di prima, e si vedrà, che il liquido si sarà innalzato nell'interno di mezza colonna barometrica. Esaminiamo qual sia ora la pressione sostenuta dal gas. Facilmente ci persuaderemo, che preso di mira uno strato di mercurio nell'interno del tubo e ad una altezza eguale a quella della superficie di livello esterno, questo è spinto in alto dalla pressione atmosferica, mentre è spinto in basso dalla colonna mercuriale sovrastante ed equivalente a mezza atmosfera e dalla elasticità del gas. Questo adunque non soffre più come prima la pressione di un'atmosfera ma bensì di mezza. Adunque essendo il peso comprimente ridotto alla metà, il volume del gas premuto è venuto doppio. Parimente tirando di più in alto il tubo, finchè il volume del gas non diventi triplo del primiero, si vedrà che la colonna liquida sollevata sarà i due terzi della barometrica, e così di seguito: la qual cosa conferma l'esposta legge.

180. Limiti della medesima. — Questa legge ha però per ciascun gas dei confini, poichè più non si verifica, quando per

una fortissima pressione il corpo aeriforme ha acquistata una ben grande densità, e quando essendo addivenuta la pressione debolissima, il gas è giunto ad un estrema rarefazione. Nel primo caso il ristringimento di volume è maggiore di quello che esige la legge, perchè essendosi di molto avvicinate le molecole, queste cominciano a risentire la forza di attrazione molecolare, che viene a coadiuvare la pressione negli ulteriori avvicinamenti. Nel secondo caso poi l'aumento di volume è minore di quello, che importa la legge, perchè la forza di gravità, che obbliga gli atomi del gas a tendere verso il basso, si viene ad opporre alla forza di espansione, che li spinge in alto; il quale ostacolo allora si rende sensibile a motivo della debolezza della forza elastica del gas in quella estrema rarefazione.

Ma anche per le intermedie pressioni non si verifica a tutto rigore la legge di Mariotte per tutti i gas; il che è stato dimostrato da Despretz colla seguente esperienza. Empiti di mercurio più tubi barometrici, e capovolti, si immergano i loro estremi inferiori in una medesima vaschetta contenente lo stesso liquido, in modo però che i detti tubi sporgano fuori di questa per una medesima altezza. Introducansi in essi dei gas differenti in tal quantità, che in ciascun tubo il mercurio discenda per un tratto eguale. Ciò disposto si ponga tutto l'apparato entro l'acqua contenuta in un vaso di cristallo assai robusto, e si eserciti sull'acqua una notevole pressione, la quale sarà dall'acqua trasmessa al mercurio, e da questa ai gas. Se la legge di Boyle e Mariotte fosse rigorosamente vera, siccome tutti i gas subiscono un eguale aumento di pressione, tutti dovrebbero egualmente diminuire di volume, e per conseguenza le colonne mercuriali dovrebbero tutte egualmente crescere in altezza. Ciò non si verifica, e nell'apparato si vede il mercurio inegualmente salire nei diversi tubi. L'acido carbonico, per esempio, l'ammoniaca ed altri gas si comprimono più dell'aria, l'idrogene meno. Le divergenze però tra la legge ed i risultati dell'esperienza sono tanto piccole, che essa legge negli usi pratici può senza pericolo di grave errore prendersi per vera.

181. Esperimenti di Regnault. — Regnault ha fatto molti esperimenti sulla compressibilità del gas acido carbonico a varia temperatura, dai quali è risultato, che allorquando questo gas trovasi a 100° C., segue esattamente nel comprimersi la legge di Boyle; ma portato ad una temperatura più elevata si mostra meno compressibile, e viceversa cresce in compressibilità ad una temperatura inferiore a 100°. Ciò che si è sperimentato nel gas carbonico, i fisici hanno esteso a tutti i corpi aeriformi, ritenendo che per ciascuno di essi vi sia un certo grado di temperatura, nel quale il gas obbedisce esattamente alla legge; ma si dilata più o meno di quello che essa esige, quando il gas si trovi ad una temperatura o minore o maggiore di quel dato grado. Secondo quest'ipotesi l'aria e tutti quanti gli altri gas, che a temperatura ordinaria si mostrano troppo compressibili, a temperatura più alta, tuttora incognita, seguirebbero esattamente la legge, ed a temperatura ancora più alta avrebbero una compressibilità minore di quella dalla legge voluta. L'idrogene al contrario, che meno compressibile

si mostra all'ordinaria temperatura, seguirebbe la legge ad un'altra data temperatura più bassa.

182. Applicazioni della legge di Mariotte. — La legge di Boyle e Mariotte bene si presta alla soluzione di alcuni utili problemi.

1° Conoscendosi il volume v di un gas alla pressione h, si vuole conoscere il volume v', che prenderà il gas medesimo alla pressione h'. Essendo i volumi nella ragione inversa dei pesi comprimenti si avrà

$$v : v' = h' : h \qquad (a)$$

e quindi $v' = \frac{v.h}{h'}$: cioè il nuovo volume si ha moltiplicando il primitivo per l'antica pressione, e dividendo tal prodotto per la pressione nuova

2° Essendo noto il peso p d'un litro di un gas alla pressione h, si vuol sapere il peso p' di un litro del medesimo gas, quando sia assoggettato ad un'altra pressione h'. I pesi di due eguali volumi di due corpi sono proporzionali alle densità, e le densità dei gas sono nella ragion diretta dei pesi comprimenti: si avrà dunque

$$p : p' = h : h'$$

e quindi $p' = \frac{p h'}{h}$: cioè il nuovo peso si ha moltiplicando il peso primiero per la pressione nuova e dividendo il prodotto per la pressione antica.

3° Se la massa di un gas alla pressione h ha un volume v, a qual pressione h' dovrà sottoporsi, perchè il suo volume addivenga v'? Dalla proporzione (a) si recava $h' = \frac{v.h}{v'}$, che c'indica essere la pressione cercata eguale al prodotto della pressione attuale per l'attuale volume, diviso per il volume, a cui si vuole ridurre il gas.

183. Provino. — Un gas premuto trasmette la pressione alle pareti del recipiente, in cui è contenuto. Interessa moltissimo conoscere qual sia la pressione esercitata da un gas, e ciò si ottiene per mezzo di alcuni istrumenti detti *manometri*. Il manometro destinato a misurare le piccole pressioni è il *provino*, che vedesi sempre annesso alle macchine pneumatiche, e consiste in un barometro a sifone (172) accorciato, ossia della lunghezza di 10 o 15 centimetri. È questo annesso ad una tavola graduata in centimetri e millimetri. Il braccio A (fig. 123) è pieno di mercurio, e nel braccio B aperto si esercita la pressione o dell'aria o del gas, che trovasi nella campana di cristallo, in cui l'istrumento è collocato. Si avverta, che esposto il provino alla pressione di un'atmosfera, non solo sosterrà essa la colonna di mercurio sollevata fino alla sommità A, ma farà che il liquido prema contro questa, tendendo a sollevarsi fino all'altezza di 76 centimetri (168). Se adunque il provino è alto solo 15 centimetri, la pressione esercitata dal mercurio contro A, quando è premuto da un'atmosfera, sarà di centimetri $76 - 15 = 61$. È per questo che il provino non serve che a misurare le pressioni minori di 15 centimetri.

I manometri destinati a misurare le alte tensioni sono di tre

specie cioè ad *aria libera*, ad *aria compressa*, e *manometro metallico*.

184. Manometro ad aria libera. È questo composto di un tubo B (fig. 124) di cristallo lungo circa 5 metri, che è innestato in una vaschetta D di ferro lavorato a martello piena di mercurio. Esso tubo è aperto nell'estremo superiore, e porta annessa una tavoletta, sulla quale si scriverà la graduazione. Nella vaschetta D termina un secondo tubo ripiegato C di ferro, per mezzo del quale la pressione del gas o vapore si trasmette al mercurio. Siccome l'elevata temperatura del vapore potrebbe ammollire il mastice, che serve a fissare il tubo alla cassetta, si empie il tubo C d'acqua, la quale trasmette al mercurio la tensione del vapore. Per graduare l'istrumento si lascia l'orifizio del tubo C in comunicazione coll'atmosfera quando il barometro segna 76 centimetri, e trovandosi allora la superficie di livello del mercurio nell'imboccatura inferiore del tubo B, ivi si segna 1, cioè un'atmosfera. A partire da questo punto si gradua il tubo in centimetri e millimetri, e per ogni altezza di 76 centimetri si segnano le cifre 2, 3..., che indicano il numero delle atmosfere, a cui corrisponde la tensione del gas o vapore, che si sperimenta. Quando adunque si voglia misurare la tensione di un gas, si mette questo in comunicazione coll'apparato per mezzo del tubo C, e si legge il numero a cui corrisponde la sommità della colonna mercuriale.

185. Manometro ad aria compressa. — Il manometro ad aria libera serve solo per misurare le tensioni che non superano le 4 o 5 atmosfere, poichè per renderlo adatto alla misura di pressioni maggiori, bisogna dare al tubo di cristallo una lunghezza, che lo rende poco maneggevole. Per le alte pressioni si fa uso del manometro ad aria compressa, il quale differisce dal primo in quanto che il tubo B (fig. 125) è chiuso all'estremo superiore ed è pieno d'aria secca. Assoggettato il mercurio della vaschetta alla pressione d'un gas, si solleverà nel tubo B, ma non tanto, quanto si solleverebbe nel manometro ad aria libera, perchè nell'attuale apparato la tensione del gas rimane equilibrata non solo dal peso della colonna mercuriale sollevata, ma ancora dalla forza elastica dell'aria racchiusa, la quale forza elastica, secondo la legge di Mariotte, cresce proporzionatamente al decremento di volume, che essa aria racchiusa subisce. Viene da ciò, che quando l'aria imprigionata nel tubo si è ridotta ad un volume eguale alla metà del primiero, non indicherà una pressione doppia, ma maggiore della doppia e di tanto maggiore, quanta è l'altezza della colonna di mercurio sollevata. Quindi è, che i numeri 2, 3, 4..., che notano le atmosfere di pressione, non stanno ad eguali distanze fra di loro, ma a distanze sempre decrescenti, e perciò con un tubo non molto alto si possono misurare elevate pressioni. Tal manometro si può graduare mediante un facile calcolo, o col confrontarlo con un'apposito manometro ad aria libera a tubo assai lungo.

186. Manometro metallico di Bourdon. — I descritti manometri non sono molto adatti per la loro fragilità ad essere trasportati da un luogo ad un altro. A ciò si presta assai meglio il manometro metallico di Bourdon, basato sul principio da noi esposto,

allorchè si descrisse lo sfigmografo a forza elastica (140). Un tubo metallico *ab* (fig. 126) s'introduce in una capsula circolare MN, ed ivi si congiunge ad un tubo pur metallico, ma a pareti sottili ed elastiche, e piegato a spirale *cde*. Essendo fisso l'estremo *c* di questo, l'altro estremo è libero; ma per mezzo di un sistema di leve snodate, allorchè un gas introdotto nel tubo tende a svolgerlo, fa girare una carrucola *f*, al cui asse sta annesso un indice *o*, il quale segna la pressione sopra un quadrante esterno. Tale manometro va graduato col confrontarlo con un altro ad aria libera: e poichè l'elasticità del metallo può cambiare, è necessario di tanto in tanto verificare di nuovo la graduazione.

187. Principio d'Archimede applicato ai gas. — Il principio d'Archimede (96) ha luogo anche nei gas: cioè un corpo immerso in un gas perde tanto peso, quanto è quello del gas spostato: il che si può dimostrare con un apparato detto *baroscopio*. È costituito questo da un piccolo giogo di bilancia, il quale porta attaccato ad un suo estremo una piccola massa di piombo, che fa equilibrio ad una sfera cava di ottone, il cui volume è circa un decimetro cubo, e che è sospesa all'altro estremo del giogo. Il tutto è collocato sotto una campana di vetro, entro alla quale può farsi il vuoto per mezzo della macchina pneumatica. Nell'aria, come abbiamo detto, i due corpi attaccati ai bracci della bilancia si fanno equilibrio; ma se fassi il vuoto, il giogo s'inclina dalla parte della sfera di ottone. Tal cosa addimostra la sfera cava pesare di più della massa di piombo, e se nell'aria si fa equilibrio, ciò provenire, perchè essendo maggiore il volume della sfera di quello del pezzo di piombo, la prima scaccia più aria del secondo. e per conseguenza quella perde più di peso, che questo, e tale diversità di decremento di peso è la causa dell'equilibrio. Si può fare l'esperimento anche in quest'altro modo. Conoscendosi il volume delle sfere e quindi dell'aria scacciata, sarà facile calcolare il peso di quest'ultima. Si aggiunga tal peso alla massa di piombo, ed allora avrassi equilibrio nel vuoto; ma fatta ritornare l'aria nella campana, l'equilibrio rimane turbato, e cala verso il basso l'estremo del braccio a cui sta appesa la massa di piombo.

188. Aerostati. — Nell'immersione di un corpo in un gas si avranno i tre medesimi casi, che s'incontrano nell'immersione di un corpo in un liquido (97). Noi considereremo solamente il terzo, che si ha quando il corpo immerso in un gas è più leggiero di questo. In tal caso il corpo viene spinto verso l'alto con una forza eguale alla differenza dei pesi specifici del corpo immerso e del gas. Su questo principio è fondata la spiegazione dell'elevarsi dei globi aerostatici. Dicesi *aerostato* un globo o di carta o di stoffa leggiera ed impermeabile, che empiuto d'aria calda o d'idrogene, s'innalza nell'atmosfera in virtù della sua leggerezza relativamente maggiore di quella dell'atmosfera stessa. Black professore di fisica ad Edimburgo avea annunciato nelle sue lezioni nel 1767, che una vescica piena d'idrogene s'innalzerebbe naturalmente nell'atmosfera, se fosse lasciata libera. Anche Cavallo aveva comunicato alla Società reale di Londra alcune esperienze da lui fatte, e che consistevano nell'empire d'idrogene alcune bolle di sapone, che s'inalzavano da

loro nell'aria. I fratelli Montgolfier fabbricatori di carta in Annonay, senza conoscere l'esperimento di Cavallo, innalzarono il primo aerostato nella loro patria il 4 giugno 1783. Questo pallone era di tela coperta di carta della circonferenza di 36 metri e del peso di 250 chilogrammi. Essendo aperto nella parte inferiore, fu gonfiato coll'abbrucciarvi sotto carta, lana e paglia inumidita. Il fumo penetrò nel pallone e ne riscaldò l'aria, che rarefacendosi, in parte escì fuori. Ai palloni gonfiati con aria calda dassi il nome di *Montgolfiere*, per distinguerli dagli aerostati ad idrogene, che si usano a'nostri giorni. Charles professore di fisica a Parigi fu il primo a sostituire l'idrogene all'aria calda, e Pilatre di Rozier è stato il primo ad elevarsi con un aerostato libero ad aria calda. Una delle più notevoli ascensioni è quella che fece Gay-Lussac nel 1804, il quale giunse all'altezza di 7016 metri sopra al livello del mare. A tale altezza il barometro era disceso a 32 centimetri, ed il termometro, che alla superficie del suolo segnava 31°, era colassù disceso a —9°,5. La siccità èra somma, il cielo di una tinta turchina cupa volgente al nero, ed un silenzio assoluto e solenne circondava l'intrepido scienziato. L'altezza, a cui giunse Gay-Lussac è stata oltrepassata da molti, ed in Italia da Andreoli e Brioschi, che sono arrivati a metri 8265.

L'inviluppo degli aerostati si forma presentemente di lunghi fusi di taffettà uniti insieme e coperti d'una vernice di gomma elastica, che rende impermeabile il tessuto. Alla sommità del pallone vi è una valvola tenuta ben chiusa da una molla interna, che l'aeronauta può aprire mediante una funicella. Al disotto del globo pende una navicella leggera o galleria di vimini, nella quale possono collocarsi parecchie persone, e che è sostenuta da una rete di corde, la quale avvolge tutto l'aerostato. Un globo di ordinarie dimensioni, e che è capace di elevare tre persone, ha circa 15 metri di altezza 11 di diametro, ed il suo volume, quando è perfettamente gonfio, è di circa 700 metri cubi. L'inviluppo pesa 100 chilogrammi, e 50 i pezzi accessorii. I palloni si gonfiano tanto coll'idrogene puro, quanto coll'idrogene carbonato, che serve per l'illuminazione. Quantunque questo secondo gas sia più pesante del primo, pure è quello che più generalmente si usa, perchè si ha a minor prezzo ove l'illuminazione a gas è adottata. È cosa importante di non gonfiare perfettamente il pallone, poichè diminuendo in alto la pressione atmosferica, il gas si dilata sempre più. Se l'aerostato non si gonfia perfettamente la forza attollente rimane costante; imperocchè sollevandosi il globo, s'imbatte in aria tanto meno densa quanto più in alto essa si trova, e che per ciò fa sempre minor pressione sul gas interno, il quale per conseguenza secondo la legge di Mariotte deve andare aumentando di volume. Quanto adunque è meno densa l'aria, tanto maggiore sarà il volume di questa scacciata dall'aerostato, e quindi sarà sempre eguale la spinta in alto, che il globo subisce. Si suole pertanto introdurre nel pallone una tal quantità di gas, che la forza attollente sia di 4 o 5 chilogrammi.

Quando l'aeronauta vuole discendere apre la valvola, di cui abbiamo parlato, e fa in parte escire il gas. Se dopo ciò vuole rial-

zarsi di nuovo, deve alleggerire il pallone, gettando via della zavorra, che seco appositamente porta. Se il pallone venisse a correre qualche pericolo, o se la valvola non potesse aprirsi, l'aeronauta può abbandonare il globo aerostatico, discendendo per mezzo del *paracadute*. Questo è formato di una vasta tela circolare del diametro di 5 metri, e che per effetto della resistenza dell'aria si distende in forma di un grande ombrello, e lentamente cade con moto uniforme a motivo della detta resistenza dell'aria, la quale cresce come il quadrato della velocità del corpo cadente, a cui si oppone. Una rete di corde avvolge il paracadute, e sostiene una navicella, in cui si colloca l'aeronauta. Nel centro del paracadute è praticata un'apertura, dalla quale sfugge l'aria compressa per effetto della discesa, e che senza tale apertura potrebbe dar causa ad oscillazioni, le quali potrebbero comunicarsi alla navicella sottoposta.

CAPO IV.

MACCHINA PNEUMATICA

189. Principio fondamentale della macchina pneumatica. — Spesso abbiamo dovuto far menzione della macchina pneumatica, che serve a fare il vuoto, e che fu inventata da Ottone Querick. Per formarci un'idea del suo modo di agire, immaginiamo di avere un cilindro cavo BC (fig. 127), entro cui si muova uno stantuffo. Termini il detto cilindro nella parte inferiore con uno stretto collo, al quale si annetta con vite il collo di una sfera cava A munita di chiavetta R. Il corpo di tromba BC, dove incomincia il collo, abbia una valvola E, che si apra dal disotto al disopra. Un'altra valvola D aprentesi come la prima dal basso in alto chiude un foro, che attraversa l'embolo. Si spinga lo stantuffo in basso; l'aria compressa nel corpo di tromba farà chiudere la valvola E, ed aprire l'altra D, e per il foro dell'embolo sfuggirà. Tirando poscia in alto lo stantuffo, l'aria esterna, premendo, farà abbassare la valvola D, e l'aria del vaso A, non più compressa da quella del corpo di tromba per la sua forza elastica spingerà la valvola E, ed entrerà in parte nel cilindro BC. Continuando questo moto alternativo dello stantuffo, verrà a rarefarsi sempre più l'aria del vaso A, in modo che in fine questo si potrà considerare come vuoto,

quantunque non mai possa perfettamente addivenirlo, come ora vedremo.

190. Calcolo della rarefazione dell'aria. — Se si conosce la capacità del corpo di tromba e del recipiente A, riesce facile il determinare quale sia la densità dell'aria residua dopo ciascun colpo di stantuffo, cioè dopo un abbassamento ed elevamento dell'embolo. Difatti si chiami con A la capacità del recipiente, e con B quella del corpo di tromba, e s'indichi con 1 la densità dell'aria contenuta in A allo stato naturale, e con x la densità dell'aria stessa dopo il primo colpo di stantuffo. Ognuno comprende che quella massa d'aria, la quale aveva il volume A, dopo il primo colpo dovendo riempire non solo il recipiente, ma anche il corpo di tromba, deve prendere un volume espresso da A+B. Siccome poi la densità di due masse eguali sono fra di loro nella ragione inversa dei volumi, avrà luogo la seguente proporzione

$$1 : x = A + B : A$$

da cui si ricava $$x = \frac{A}{A+B}.$$

Parimente essendo $\frac{A}{A+B}$ la densità dell'aria racchiusa nel recipiente A prima del secondo colpo di stantuffo, e dovendo dopo il detto secondo colpo occupare lo spazio A+B, la densità dell'aria residua indicata con x' si avrà dalla proporzione

$$\frac{A}{A+B} : x' = A + B : A$$

la quale ci porge $$x' = \frac{A^2}{(A+B)^2}$$

Ragionando in simil modo si trova, che la densità dell'aria rimasta nel recipiente dopo l'*ennesimo* colpo di stantuffo è espressa dalla formola

$$x = \frac{A^n}{(A+B)^n}$$

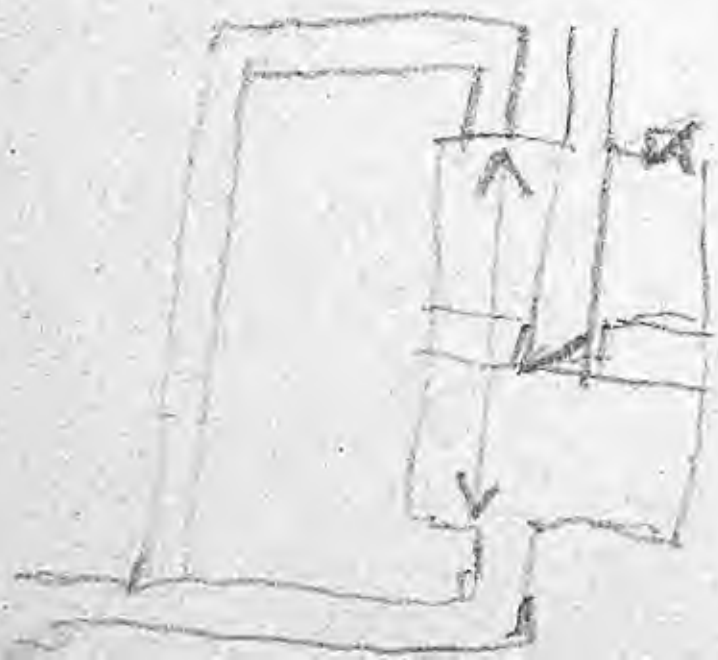
Perchè si potesse ottenere il vuoto perfetto, sarebbe necessario, che il secondo membro della formola venisse eguale a zero, ossia sarebbe d'uopo, che $(A+B)^n$ diventasse infinitamente grande; il che esigerebbe, che l'esponente n fosse illimitato, cioè che illimitati fossero i colpi di stantuffo. Essendo ciò impossibile si conchiude, che colla macchina pneumatica non si può ottenere un vuoto perfetto.

191. Macchina pneumatica comune. — Accingiamoci ora a descrivere la forma, che fin qui si è data alla macchina pneumatica (fig. 128). D è un campana di cristallo, entro cui si vuole fare il vuoto, ed i cui orli debbono essere molto levigati, onde possano perfettamente combaciare a tenuta d'aria con il piatto V T. Mediante il tubo Lc la campana comunica con il corpo di tromba P P', ed esso tubo comunica ancora nel punto o con un'altra campana di

cristallo A, in cui trovasi un provino (183) destinato a misurare la tensione dell'aria rimasta. Lo stantuffo, che è messo in movimento per mezzo dell'asta metallica C, è formato di dischi di cuoio spalmati di grasso, perchè esso embolo sia a tenuta d'aria. In mezzo a questo vi è una cavità *s*, la quale per alcuni fori comunica colla parte superiore del corpo di tromba, e per mezzo d'un'altra apertura praticata nella base dell'embolo comunica colla parte inferiore, la quale apertura è tenuta chiusa con una valvola premuta da una debole molla a spira, e che si apre dal basso in alto. Uno spillone metallico *tc* passa attraverso dell'embolo a sfregamento, e termina in basso con una valvola a tronco di cono *c*, la quale, quando lo stantuffo discende, va a chiudere la bocca del tubo L*c*. L'aria sottoposta all'embolo non può pertanto rientrare nelle campane D, A, ma addensandosi solleva la valvola *s* e si porta alla parte superiore. Allorchè lo stantuffo torna in alto, lo spillone si solleva, ma di poco, perchè una prominenza *r* gli impedisce un ulteriore elevamento: si apre quindi l'orificio *c*, il quale è pronto a chiudersi appena l'embolo comincia a ridiscendere. L'aria sovrastante allo stantuffo, quando questo ascende, coadiuva la molla a spira a far chiudere la valvola *s*, e per conseguenza sotto allo stantuffo si farebbe il vuoto, se non si rarefacesse l'aria contenuta nelle due campane, la quale espandendosi, va ad occupare il corpo di tromba lasciato libero dall'embolo, che ascende. Ma se un solo fosse il corpo di tromba, non solo l'aspirazione dell'aria sarebbe intermittente, ma gran forza si esigerebbe a tirare in alto l'embolo a motivo della pressione atmosferica, che si esercita solamente sulla faccia superiore di esso. Si sogliono perciò usare due corpi di tromba eguali al descritto. Le loro aste sono dentate, ed i denti incastrano con quelli d'una ruota collocata in mezzo a loro, e che alternativamente fa mezzo giro in un senso e mezzo giro in senso opposto, essendo messa in moto da una leva a braccia eguali. Per tal modo mentre un embolo discende, l'altro ascende, e quindi oltre che l'aspirazione dell'aria è continua, la resistenza, che è presentata dall'aria allo stantuffo ascendente, viene compensata dalla pressione fatta dall'aria su quello che discende.

192. Robinetto di Babinet. — Allorquando l'aria, che trovasi sotto agli stantuffi si è molto diradata, quantunque sia compressa dall'embolo che discende, pure non prende tensione bastevole ad aprire la valvola di esso embolo, e così sfuggire alla parte superiore. Ne viene, che non può la rarefazione dell'aria spingersi ad un sommo grado. Ciò però si ottiene unendo alla macchina il *robinetto di Babinet*. Rappresenti K (fig. 129) il piatto su cui poggia la campana, entro alla quale si vuol fare il vuoto, ed i cerchi V, Z figurino i fondi dei due corpi di tromba. In mezzo a questi si trova il robinetto di Babinet R, entro al quale penetra il canale K*c*, per cui passa l'aria che si estrae dalla campana. Il robinetto ha varii piccoli canali con i quali si stabiliscono diverse comunicazioni tra la campana ed i due corpi di tromba. I due fori *o*, *s* sono quelli che vengono chiusi dai due spilloni, e da questi cominciano i due tubi *od*, *sb* che giungono fino alle pareti del robinetto. Da *o* incomincia un altro tubo *omn*, ed in *a* vi è un'aper-

tura in cui ha principio un tubetto *ar*. Nella posizione del robinetto indicata in I° i tubi *mon*, *ar* rimangono chiusi dalle pareti del robinetto stesso; mentre i tubi *od*, *sb*, mediante un canale praticato nel robinetto, e che in questa disposizione imbocca nei tubi suddetti, mettono in comunicazione ambedue i corpi di tromba con il canale K*c*. In tal caso adunque i due cilindri aspirano l'aria dalla campana, e la macchina funziona nel modo consueto. Ma se si giri il robinetto per 90°, allora si avrà la disposizione indicata in II, cioè il foro praticato nel robinetto, e che metteva i due cilindri in comunicazione colla campana, non corrisponde più coi tubi *od*, *bs*, ma il tubo *od* rimane chiuso dalla parete del robinetto, ed il solo tubo *bs* comunica per altro foro, praticato nella chiavetta, con il canale K*c*. Un altro foro praticato anch'esso nel robinetto mette in comunicazione i tubi *omn* ed *ra*. Si dà alla chiavetta questa posizione, quando nella campana si è tanto diradata l'aria da non aver più questa forza bastevole a sollevare le valvole degli emboli. Disposto così il robinetto, il solo cilindro Z sta in comunicazione colla campana, ed aspira l'aria, quando lo stantuffo ascende. Allorchè poi questo torna in basso l'aria sottostante non ha la forza di aprire le valvole di esso, ma rimane spinta per mezzo del tubo *arnmo* nel cilindro V, in cui può liberamente penetrare, perchè mentre lo stantuffo di Z discende, ascende quello di V, e sollevando l'annesso spillone lascia aperto il foro *o*. Quando poi l'embolo di Z ascende, si abbassa quello di V, e con esso si abbassa lo spillone, che chiude il foro *o*; ond'è che l'aria penetrata in V non può riportarsi in Z. Dopo alcuni colpi di stantuffo l'aria accolta nel cilindro V, rimane tanto addensata d'avere forza bastante ad aprire la valvola dell'embolo, e quindi disperdersi. Si vede pertanto come cooperi il robinetto a spingere la rarefazione dell'aria ad un sommo grado.

193. Macchina pneumatica di Bianchi. — Bianchi ha ideato una macchina pneumatica ad un solo cilindro, la quale è più comoda della precedente e non meno perfetta. In questa vi è un solo cilindro che aspira l'aria tanto allorchè lo stantuffo ascende, quanto allorchè discende, ed è formato nel modo seguente. Un corpo di tromba (fig. 130) ha un foro B nella base inferiore ed un altro C di fronte al primo nella base superiore, i quali due fori si aprono e chiudono alternativamente per mezzo di due coni portati da uno spillone CB, il quale scorre a sfregamento dentro all'embolo. Questo è munito della solita valvola A, la quale si apre quando l'embolo discende, e per il foro, che essa lascia aperto, penetra l'aria sottoposta nella cavità, la quale trovasi dentro all'embolo stesso, e si disperde nell'atmosfera, sfuggendo per un tubo percorrente l'interno dell'asta AN. In D vi è un'altra valvola, che si apre dal di dentro al di fuori: e la campana, in cui si ha da fare il vuoto, comunica per mezzo del tubo MF colla parte inferiore del cilindro, e per mezzo del tubo PGLF colla parte superiore del medesimo. Quando lo stantuffo discende, si chiude la valvola B, l'aria addensata sotto l'embolo apre la valvola A, e si disperde per il tubo AN. Contemporaneamente si chiude la valvola D, e si apre la C, e l'aria della campana, si dilata entrando nella parte superiore del corpo di tromba per la valvola C. Quando al contrario l'embolo ascende, si chiude il foro

C, e si apre D, da cui esce l'aria posta sopra allo stantuffo, simultaneamente si chiude A, e si apre B, da dove entra l'aria della campana, la quale aria si andrà per conseguenza sempre più diradando. Basterà adunque porre in continuo movimento lo stantuffo, perchè l'aria venga rarefatta senza alcuna interruzione. Per fare concepire all'embolo un rapido movimento, si fa che il corpo di tromba possa oscillare intorno ad un'asta orizzontale collocata presso la base inferiore. L'estremità dell'asta dello stantuffo è congiunta a snodatura ad un manubrio annesso ad un rocchetto i cui denti incastrano con quelli d'una ruota dentata concentrica ad un volante con il quale sta unita. Messo in moto il volante, il rocchetto fa molti giri, e per ognuno di questi lo stantuffo è spinto una volta in alto ed una volta in basso, ed il cilindro oscilla da sinistra a destra e da destra a sinistra. Presentemente ad evitare tali oscillazioni si fa in modo che il corpo di tromba sia fisso ; ma l'asta dell'embolo si congiunga a snodatura ad un'altra asta, la quale pure con snodatura si annette al manubrio del rocchetto.

194. Macchina pneumatica a mercurio. — È molto usata in fisiologia la macchina pneumatica a mercurio dovuta a Geisler (fig. 131). Un tubo barometrico ABC lungo un metro è fissato in una tavola verticale, e presenta una camera barometrica di 200 centimetri cubi. Alla parte superiore A porta un robinetto a tre tubulature, le quali possono stabilire una comunicazione tra la camera AB un tubo *d* verticale, che termina ad imbuto, ed un terzo tubo *e* orizzontale. Nella parte inferiore C si congiunge al tubo di vetro un tubo ad erte pareti di caucciù per mezzo d'un nastro della medesima sostanza. Questo tubo flessibile comunica per l'altro estremo colla parte inferiore di un vaso V, che può essere sostenuto da anelli aperti a varie altezze. In *e* si annette un altro tubo *fg* di caucciù a pareti ertissime, affinchè non si appiani quando sia estratta l'aria contenuta, ed alla sua estremità *g* si adatta il recipiente, in cui si vuol fare il vuoto. Vediamo come si adopri la macchina. Il robinetto sia disposto come si rappresenta a parte in (1), ed il vaso V sia collocato alla medesima altezza dell'imbuto. Comunicando in tal disposizione di cose il tubo AC coll'imbuto, si versa in questo del mercurio in modo che il detto liquido vada ad empire l'apparato, elevandosi sopra *d*, ma lasciando quasi vuoto il vaso V. Se si faccia quindi fare alla chiavetta circa un ottavo di giro, cosicchè prenda la posizione (2), essa chiavetta terrà chiusi *d*, *e*, A: si abbassi ora il vaso V fino all'estremità inferiore della tavola; il mercurio dovrà discendere nel tubo AB, mantenendosi però all'altezza di circa 76 centimetri sopra al livello di quello contenuto in V. In tal modo la camera AB rimarrà perfettamente vuota. Si faccia girare il robinetto per altri 45°, onde prenda la disposizione (3); il tubo *fg* si sarà così posto in comunicazione con AB, e l'aria del recipiente si diraderà, empiendo la camera barometrica, cosicchè se la capacità di questa è doppia della capacità del recipiente, l'aria in questo rimasta non avrà che il terzo della densità primiera. Si riporti il robinetto alla disposizione primitiva (1): il tubo *e* rimarrà chiuso ed AB sarà in comunicazione coll'imbuto, e perciò sollevando il vaso V, il mercurio ascenderà

nel tubo CB, ed obbligherà l'aria ad escire completamente per l'imbuto. Dopo avere quattro o cinque volte ripetuta questa manovra, che esige brevissimo tempo, si sarà ottenuta nel recipiente una somma rarefazione. Difatti ritenuta l'indicata proporzione tra le capacità del recipiente e della camera barometrica, la pressione dell'aria rimasta dopo cinque manovre sarà divenuta eguale a $76\times\left(\frac{1}{3}\right)^5=\frac{76}{243}=$cent. 0,31. Questa macchina presenta in confronto delle precedenti i seguenti vantaggi: 1° con essa si può ottenere un vuoto più perfetto che coll'altre: 2° si mantiene più a lungo il vuoto: 3° permette che i gas estratti si raccolgano in una campana capovolta sull'imbuto, il che è molto utile in fisiologia.

CAPO V.

TROMBE

195. *Tromba aspirante* — 196. *Aspirante e premente* — 197. *Premente* — 198. *Da incendio* — 199. *Ad embolo libero* — 200. *Ad embolo liquido equilibrato* — 201. *Sifone* — 202. *Contagoccie* — 203. *Ventosa* — 204. *Ventosa elastica* — 205. *Ventosa a pompa* — 206. *Ventosa di Junod* — 207. *Pompa di Moncoq* — 208. *Siringa di Pravaz* — 209. *Soffietto per la respirazione artificiale.*

195. Tromba aspirante. — Le *trombe* o *pompe* sono macchine assai usate per sollevare l'acqua in alto, e sono di varie specie. La tromba *aspirante* è formata di un cilindro cavo AB (fig. 132), che nella sua base inferiore porta annesso un altro tubo più stretto mC, il quale dicesi *tubo d'aspirazione*, ed il cui estremo C s'immerge nell'acqua da sollevarsi. Nel punto, in cui il tubo aspirante si congiunge al corpo di tromba avvi una valvola E, che si apre dal basso in alto. Lo stantuffo, che trovasi entro al cilindro, ha un foro D coperto da una valvola F, che come la prima si apre dal basso in alto. Quando l'embolo si abbassa l'aria posta sotto di esso, addensandosi, chiude la valvola E, apre la F, e sfugge per il foro D. Sollevandosi poi lo stantuffo viene a chiudersi F per la pressione dell'aria esterna, e l'aria del tubo aspirante, dilatandosi, apre la valvola E, riempie il corpo di tromba, e sarà scacciata all'esterno in un secondo abbassamento dell'embolo. Venendosi così in seguito sempre più a diradare l'aria del tubo aspirante, premerà assai meno il liquido di quello che faccia l'aria esterna, onde l'acqua si solleverà nel detto tubo ed in fine penetrerà per E nel corpo di tromba nell'elevarsi dell'embolo, e nel riabbassarsi di questo porterassi per il foro D sopra di esso stantuffo, il quale nel suo successivo rialzamento la solleverà e la farà versare per un canale

laterale G. Non ascendendo l'acqua nel vuoto che all'altezza di 10 metri (166), non dovrà il tubo aspirante mai raggiungere una tale altezza: in pratica il detto tubo non si fa più lungo di 8 metri.

196. Tromba aspirante e premente. — In questa pompa oltre al tubo aspirante CD (fig. 133) vi è un secondo tubo BF destinato a portar l'acqua a qualunque altezza, e che ha una valvola B aprentesi dal di dentro del corpo di tromba al difuori. L'embolo, il quale è tutto massiccio, andando in basso, obbliga l'aria a sfuggire per il tubo BF, ma quando torna in alto, l'aria del tubo DC prima, e poi anche l'acqua salgono nel cilindro, e quest'ultima nel riabbassarsi dello stantuffo ascende nel tubo BF.

197. Tromba premente. — Se alla pompa precedente si tolga il tubo aspiratore, ed essa s'immerga entro all'acqua, che si ha da sollevare, cessa ogni aspirazione, e la tromba addiviene semplicemente *premente*.

198. Tromba da incendio. — La tromba da incendio è costituita da due trombe prementi A, B (fig. 134). I due stantuffi sono messi in moto come quelli di una macchina pneumatica a due cilindri (191) per mezzo di una ruota dentata e di un bilanciere. L'acqua da sollevarsi si versa in un grande recipiente CC, in cui sta tutto l'apparecchio. Lo stantuffo A col discendere fa chiudere la valvola *a* ed aprire la *c*, e spinge l'acqua nella campana D piena di aria. Nel tempo stesso lo stantuffo B salendo, lascia chiudere la valvola *d* e l'acqua penetra in B per la valvola *b*. Nel moto inverso degli emboli avviene in B ciò che prima avveniva in A, e viceversa. L'acqua spinta nella campana D non può empirla, perchè l'aria vi si addensa nella parte superiore, e per ciò deve salire nel tubo H destinato a condurla al luogo incendiato. È in questo modo l'acqua obbligata ad escire dal tubo, il quale è lungo e flessibile, con getto continuo, giacchè è premuta sempre da uno dei due emboli, e nei *punti morti*, ossia nell'alto in cui gli stantuffi cambiano di direzione, è spinta dall'aria addensata nella campana.

199. Tromba ad embolo libero. — Sono pochi anni da che il Marchese di Montrichard ha inventate due altre pompe, cioè la pompa ad *embolo libero*, e la pompa ad *embolo liquido equilibrato*. La prima di queste (fig. 135) consiste in un tubo AB piegato ad U, in cui si versa una quantità di mercurio: un embolo massicio e di forma cilindrica P si muove dall'alto in basso e viceversa nel ramo A, il cui diametro interno è alquanto maggiore di quello dello stantuffo. Un condotto verticale EF fornito di due valvole *m*, *n*, che si aprono dal basso in alto pesca col suo estremo inferiore in un serbatoio d'acqua, e nell'intervallo C fra le due valvole comunica col ramo B del tubo a sifone. Lo stantuffo ricevendo un moto di *saliscendi* viene alternativamente immerso nel mercurio ed estratto da questo. Nell'immersione dell'embolo la superficie di livello del liquido si eleva in ambedue i rami, dal che consegue, che l'aria racchiusa tra le due valvole ed il mercurio si addensa, chiudesi la valvola *n*, si apre la *m*, e l'aria in parte se n'esce. Rialzato l'embolo P, si rarefà l'aria rimasta tra *n*, *m*, B, chiudesi *m* si apre *n*, e l'acqua è obbligata ad ascendere. Seguitando l'embolo nel suo moto, l'aqua si solleva sempre più, ed in fine sormonta *n* ad ogni

emersione dello stantuffo, per essere poi spinta al disopra di *m* nella successiva immersione. Questa tromba presenta un grande vantaggio. Invero la sostituzione dell'attrito tra un liquido ed un solido, cioè tra il mercurio e l'embolo, a quello che nelle pompe comuni si esercita tra due solidi (embolo e le pareti del corpo di tromba) diminuisce le resistenze passive. Di più nella pompa attuale non è mai possibile il trapelare dell'acqua attraverso dell'embolo.

200. Tromba ad embolo liquido equilibrato. — In un tubo piegato a sifone OUB (fig. 136) si versa mercurio, e sopra questo nel ramo più lungo AO si versa acqua. Questa colonna di acqua è equilibrata dal mercurio, che deve innalzarsi di più nell'altro braccio. Tutta la massa liquida costituita dal mercurio e dall'acqua riceve un moto alternativo di *saliscendi* sia mediante l'azione diretta del vapore sulla superficie liquida O coperta di uno strato di materia grassa, sia mediante un embolo solido messo in movimento da un motore qualunque agente in O. Il ramo B del sifone sbocca in un condotto verticale e precisamente nell'intervallo C compreso tra le due valvole *m*, *n*, che si aprono verso l'alto. Il modo d'agire di questa pompa è del tutto analogo a quello della precedente.

201. Sifone. — Nella pressione atmosferica è pure fondata l'azione di altri apparati, che ci accingiamo a descrivere, incominciando dal sifone, il quale è un tubo ricurvo ARC (fig. 137) avente un ramo più lungo dell'altro, e che è destinato a travasare i liquidi. S'immerga il braccio più corto nel recipiente MT in cui è il liquido da travasarsi, e quindi si *adesca* o *carica* il sifone; cioè succhiando in C, si fa il vuoto nel tubo, onde il liquido lo empia, spintovi dalla pressione atmosferica. Lasciato dopo ciò aperto l'orificio C, il liquido seguiterà a sgorgare da questo, finchè la superficie di livello nel vaso non vada sotto l'estremo A del tubo. A spiegare ciò si rifletta, che supposta EO la superficie di livello nel vaso, la forza che obbliga il liquido a penetrare in A ed a percorrere il tubo, onde effluire per C, è espressa dalla pressione atmosferica sopra EO, la qual pressione indicheremo con H, più dal peso della colonna liquida di altezza $EA = OI$, cioè la forza impellente è $H + OI$. La colonna liquida però, che da A giunge in R, tendendo per il suo peso a ridiscendere verso A, si oppone alla detta forza e questa resistenza è espressa dal peso di una colonna liquida, che abbia per altezza SI. Adunque la forza effettiva, che si esercita in A, ed obbliga il liquido ad ascendere viene ad essere $H + OI - SI = H - SO$. D'altra parte il liquido nello sgorgare da C trova un ostacolo, e questo è la pressione atmosferica H diminuita però dal peso del liquido, che empie il braccio RC, e che spinge il liquido a sgorgare: tale resistenza cioè si esprime con $H - SB$. Se pertanto da $H - SO$ si sottragga $H - SB$, la differenza che si ottiene, vale a dire OB, esprimerà la vera forza, per la quale ha luogo lo sgorgo; onde si può conchiudere, la velocità dell'efflusso essere proporzionale alla differenza d'altezza della superficie di livello nel vaso e dell'estremo C del ramo più lungo del tubo. Dalle cose esposte si deduce 1° che la celerità dell'efflusso deve essere tanto maggiore, quanto maggiore è la lunghezza del ramo RC; 2° che il sifone non potrà agire se le due braccia sono eguali;

3° che non si avrà alcun effetto, se l'altezza della parte del sifone sporgente dal liquido raggiunga l'altezza, che deve avere una colonna del medesimo liquido per equilibrare la pressione atmosferica (166). Se il liquido da travasarsi sia di tale natura, che non possa introdursi nella bocca, si fa uso di un sifone, al quale si annette vicino all'estremo C un altro tubo parallelo al primo, ed avente circa alla sua metà un rigonfiamento. Si succhia ponendo le labbra all'estremo del tubo addizionale, chiudendo nell'istesso tempo l'orifizio C. Sgorgando il liquido dal sifone, si andrà ad abbassare nel vaso la superficie di livello, e per ciò anderà continuamente scemando la velocità dell'efflusso. Quando si voglia ciò evitare, si congiunge al lato più corto del sifone un galleggiante, che riposa sulla superficie del liquido, e si sospende l'apparato ad una funicella, che accollandosi ad una carrucola fissa, regge coll'altro estremo un contrappeso, il quale tiene equilibrato l'istrumento. Nell'abbassarsi della superficie di livello, si abbassa anche il sifone, e per ciò rimane sempre costante la distanza tra la superficie di livello e l'estremo del ramo più lungo.

Il sifone è impiegato per stabilire l'irrigazione continua tant'utile alla chirurgia. Un secchio pieno d'acqua è collocato al disopra del letto, in cui giace l'infermo: vi si immerge il ramo più corto di un sifone adescato, l'altro ramo del quale è munito di una chiavetta, con cui si regola la quantità di scolo. Si può fare il sifone con un tubo di caucciù, e l'acqua che ne sgorga si conduce per mezzo di un pannolino fino al membro che si vuole irrigare collocato sopra una tela incerata e vicino ad un sottoposto recipiente.

202. Contagocce. — Il *contagocce* è un piccolo apparato dovuto ad Alvergniat, e che permette lo scolo di un liquido goccia a goccia; per il che è molto utile nel misurare alcuni medicamenti. Un piccolo matraccio di vetro (fig. 138) ha un lungo collo, il quale ha lateralmente una piccola apertura *o*. Attorno al collo è solidamente fissata un'ampolla di caucciù ad erte pareti. Si versa un liquido nel vaso, e si chiude il suo orificio con un turacciolo di caucciù attraversato da un tubo di vetro, che giunge fin quasi al fondo del recipiente e che nella parte esterna è curvo. Se si comprime l'ampolla, l'aria racchiusa aumenta la sua pressione sopra al liquido, il quale è costretto ad ascendere per il tubo, e ad escire goccia a goccia per l'apertura capillare del medesimo. Appena cessata la compressione cessa lo scolo.

203. Ventosa. — Si abbia una piccola coppa di vetro, il cui orlo sia ben levigato; si diradi l'aria in essa contenuta col riscaldarla mediante una fiamma ad alcool; e poi si applichi la coppa capovolta sulla pelle della parte su cui si vuole agire. Raffreddandosi l'aria interna si ristringe e la sua pressione diminuisce. Ma la pressione atmosferica, che si esercita in tutte le altre parti della cute, e che è trasmessa per mezzo del sangue, comprime dal di dentro al di fuori la pelle sottoposta alla ventosa; essa pelle si solleva ed il sangue vi affluisce; si gonfiano le vene, si arrossa la cute, e se su questa vennero praticate incisioni superficiali, il sangue con facilità ne sgorga.

204. Ventosa elastica. — Con mezzo semplicissimo si fa il

vuoto nella ventosa elastica. La coppa di vetro è assai bassa, e nella sua parte superiore porta una tubulatura, per la quale comunica coll'interno di una sfera cava di caucciù vulcanizzato. Si fanno queste ventose anche interamente di caucciù. Quando si vuole usare di tale apparato si comprime fortemente fra le dita la sfera cava in modo da diminuire quanto più sia possibile la sua capacità interna, e discacciarne l'aria. Allora si applica la coppa sulla cute, e si fa cessare la compressione. La sfera per la sua elasticità riprende la forma primiera e così determina un vuoto parziale nell'interno della coppa.

205. Ventosa a pompa. — Una piccola campana sia munita di una guarnitura metallica, di un robinetto e di un tubo di metallo, per mezzo del quale possa annettersi ad una tromba, il cui embolo sia fornito di una valvola simile a quella dello stantuffo della macchina pneumatica (191), che si apre cioè dal basso in alto. Si applichi la coppa sulla pelle, e si giri la chiavetta in modo, che comunichi la ventosa colla pompa: innalzando allora l'embolo si verrà a rarefare l'aria della campana. Si chiuda quindi la comunicazione della coppa colla tromba e si abbassi lo stantuffo; l'aria compressa aprirà la valvola e sfuggirà. Ripetuta più volte tale manovra si otterrà un notevole vuoto. Pongasi invece d'una chiavetta semplice una a tre tubulature (fig. 139), che permetta la comunicazione tra la coppa ed il corpo di tromba, o tra questo e l'aria esterna, e sia l'embolo tutto massicio. Data al robinetto la disposizione A, si elevi lo stantuffo: verrà a rarefarsi l'aria della coppa; fatta prendere di poi alla chiavetta la disposizione *b*, si abbassi l'embolo; l'aria già aspirata verrà espulsa. Seguitando ad agire in simil modo, farassi il vuoto nella coppa, onde la pelle sottoposta alla ventosa si gonfierà ed arrossirà assai. Dopo ciò fatti alcuni tagli superficiali sulla cute, e postole di nuovo sopra l'apparato si seguiti a manovrar la pompa nel modo suddetto: il sangue escirà in copia e sarà espulso dalla pompa, e così potrà eseguirsi un'abbondante sanguigna locale.

206. Ventosa di Junod. — Le ventose descritte non si possono applicare che sopra poco estesa superficie del corpo. Junod una ne ha ideata, che può applicarsi ad un gran tratto della superficie del corpo umano, ad esempio a tutto un braccio, o a tutta una gamba, producendovi o una rarefazione di aria, od un addensamento. La rarefazione, come abbiamo veduto, fa affluire il sangue nella parte su cui si opera, e vi fa nascere una congestione locale: al contrario la pressione dell'aria addensata scaccia dalla parte premuta il sangue e lo fa affluire nelle parti centrali. La ventosa di Junod (fig. 140) è composta di un grande tubo C munito nella sua parte superiore di un anello metallico foderato di caucciù, per mezzo del quale s'introduce sul cilindro il membro, sul quale si ha da operare. Anche la parte inferiore del detto cilindro ha nu foro fornito di un tubo a chiavetta. Un lungo tubo di caucciù ad erte pareti mette in comunicazione il tubo suddetto con un recipiente R, al quale sta annessa una pompa P aspirante e premente, con cui si può estrarre l'aria da C, o condensarvela. A tale duplice scopo il fondo della tromba P (rappresentato in grande a parte)

(fig. 140 *bis*) ha due aperture fornite di valvole, una delle quali a' si apre dal di dentro al di fuori, e l'altra a dal di fuori al di dentro: alle dette aperture sono adattate due tubulature. Quando si voglia fare il vuoto in C si fa comunicare con a il recipiente R, che comunica ancora col manometro M (fig. 140) ad aria libera ed a bracci eguali (184). Ma se invece si vorrà produrre in C un addensamento, si farà comunicare a' con R, ed a coll'aria libera. Basta di agire finchè il dislivello del mercurio nel manometro sia di 8 o 10 centim.

207. Pompa di Moncoq. — Moncoq ha ideato un apparecchio col quale facilmente si effettua la trasfusione del sangue da un individuo all'altro, con che si ottengono sommi vantaggi nelle grandi emorragie. Un cilindro di vetro graduato (fig. 141) ha dentro di sè un embolo che si muove dal basso in alto e dall'alto in basso per mezzo di una ruota dentata i cui denti s'incastrano con quelli dell'asta congiunta all'embolo. La parte inferiore di questa tromba comunica con una piccola coppa A per mezzo d'una valvola, che si apre dal di fuori del cilindro al di dentro. Il corpo di tromba stesso per mezzo di un'altra valvola, che si apre in senso opposto della prima, è in comunicazione con un sottile tubo di caucciù, il quale va a terminare con un ago sottilissimo di argento C curvo, vuoto ed avente una piccola apertura circa alla sua metà. Si attraversa con quest'ago la vena dell'individuo, in cui si vuole iniettare il sangue, in modo che il foro dell'ago trovisi entro alla vena. Si fa colla lancetta un'apertura in una vena di un individuo pletorico, e vi si applica sopra la coppa A. Sollevandosi dolcemente lo stantuffo, una certa quantità di sangue penetra nel corpo di tromba. Si abbassa di poi l'embolo, ed allora il sangue passa nella vena del malato. Se mai una piccola quantità di aria penetra col sangue nel corpo di tromba, essa ascenderà sopra al liquido a contatto dell'embolo, e si dovrà avere somma cura di non iniettarla col sangue.

208. Siringa di Pravaz. — Sovente in medicina avviene di dover iniettare sotto la cute soluzioni di sostanze medicamentali assai attive. A tale scopo si fa uso della *Siringa di Pravaz*, che consiste in una sottilissima cannula tagliente ad un'estremo, ed annessa coll'altra ad un piccolo corpo di tromba di uno o due centimetri di capacità. L'asta dello stantuffo in esso contenuto è formata di un maschio di vite, che può girare in una madrevite, la quale o si fissa all'estremo aperto del corpo di tromba, o si lascia libera. Quando il liquido da iniettarsi non debba essere in piccola quantità, si lascia libera la madrevite, ed allora l'apparecchio agisce come una siringa comune: ma se il liquido debbasi iniettare in piccolissima quantità, la madrevite si fissa, ed allora si dovrà far girare lo stantuffo per farlo camminare, e così per ogni giro l'embolo si avvanzerà per un passo di vite. Le cose poi sono così disposte, che ad ogni mezzo giro s'inietta una goccia di liquido. Per vedere se la siringa è in buono stato si spinge l'embolo fino al fondo, si toglie la cannula, e chiusa l'apertura con un dito si tira lo stantuffo all'altro estremo lasciando libera la madrevite. Se l'aria non penetra attraverso dell'embolo, dovrà sotto questo formarsi il vuoto, e la pressione atmosferica esterna dovrà spingere all'altro estremo lo stantuffo, appena questo sia lasciato libero.

209. Soffietto per la respirazione artificiale. — Deve qualche volta il medico stabilire una respirazione artificiale. A tal fine si fa con molto vantaggio uso di un piccolo mantice (fig. 142) avente la solita valvola S di cuoio, che si apre dal di fuori al di dentro; ma inoltre deve avere un'altra valvola S' a tronco di cono, che è sostenuta da un piccolo montante, e termina nell'interno del mantice con un'asta *t'*. Questa valvola si apre dal di dentro al di fuori, e quando le pareti rigide del soffietto si avvicinano, l'asta rimane al fine premuta e la valvola S' si apre. Per produrre la respirazione artificiale si mette la cannula in comunicazione colla bocca del malato per mezzo di un idoneo imbuto, o colla trachea per mezzo di una sonda elastica o con un tubo che si divide in due branche guernite di gomma elastica, le quali s'introducono nelle narici. Si allontanano fra di loro i due manichi del soffietto; l'aria esterna entra per la valvola S. Si riavvicinano quindi le branche, e l'aria è spinta nei polmoni. Allorchè le dette branche avvicinandosi sono giunte ad un certo punto, spinta dall'asta *t* si apre la valvola S' e l'elasticità dei polmoni scaccia l'aria, la quale sfugge per S', e così si compie l'espirazione. Quando non si abbia il descritto apparato, si potrà fare uso di un soffietto comune. Si guarnisce l'estremità della cannula con un pannolino, e s'introduce in una narice; avvicinando tra di loro le branche del soffietto si spinge l'aria nei polmoni: l'espirazione avverrà per l'altra narice.

CAPO VI.

DIFFUSIONE DEI GAS

210. Esperienza di Berthollet. — Berthollet prese due palloni di eguale capacità interna aventi uno stretto collo munito di chiavetta, e tali che quello dell'uno possa avvitarsi a quello dell'altro. Empì uno dei due palloni d'idrogene, e l'altro di gas acido carbonico, e chiuse i due orifici, girando le chiavette. Avendo avvitato un recipiente sull'altro in modo che quello il quale conteneva il gas più pesante, ossia l'acido carbonico, fosse al disotto, ed al disopra l'altro, calò l'apparato in un sotterraneo. Dopo qualche giorno, durante il qual tempo i due gas certamente avevano presa una medesima temperatura, girando le chiavette stabilì la comunicazione tra i due palloni, la quale comunicazione chiuse dopo scorsi altri giorni. Esaminati i gas contenuti in ciascun recipiente, vide che ambedue si erano perfettamente mescolati. Mostra adunque

questa esperienza, che non ostante la differenza dei pesi specifici, e quantunque si eviti qualsivoglia diversità di temperatura capace di mettere i gas in movimento, pure questi tendono a mescolarsi fra di loro, come se fossero agitati; il che certo avviene per la loro forza espansiva e per la loro estrema porosità, e si suol dire che vi è *diffusione* d'un gas nell'altro. È per questa diffusione, che i varii gas si vanno a mescolare nell'atmosfera.

211. Ricerche di Graham. — La diffusione dei gas ha luogo ancora attraverso di strati porosi. Graham ha fatto studio su tale diffusione, servendosi per corpo poroso della grafite compressa. Si abbia una lamina di questa sostanza, e si fissi con mastice all'estremità C (fig. 143) di un tubo di vetro B. Si empia questo con un gas, e quindi s'immerga l'estremo aperto nel mercurio contenuto nel recipiente A. Sopra al tramezzo C si può fissare una campana D munita di robinetto, come vedesi in figura, nella quale può farsi il vuoto, o pure introdursi un gas qualunque. La pressione del gas contenuto in B può essere mantenuta ad un grado costante, immergendo più o meno il tubo B nel sottoposto mercurio. La prima ricerca fatta da Graham è stata la determinazione della velocità, con cui eguali volumi attraversano lo strato poroso per passare nel vuoto fatto nella campana D. Egli ha scoperto, aver luogo questa semplicissima legge: i tempi impiegati da volumi eguali di differenti gas per attraversare i corpi porosi sono fra di loro come le radici quadrate dei pesi specifici di essi corpi aeriformi. Ad esempio essendo la radice quadrata del peso specifico dell'idrogene quattro volte minore della radice quadrata della densità dell'aria, la velocità con cui l'idrogene attraversa lo strato poroso è quattro volte maggiore di quella, con cui l'aria fa il medesimo passaggio. Ha veduto ancora Graham, che se in B si pone un gas, ed un altro nella campana D, ciascuno dei suddetti gas passa attraverso della grafite dall'altra parte con quella stessa proporzionale velocità, con cui passerebbe nel vuoto. Ad esempio si ponga l'idrogene nel tubo B e si voglia farlo passare nell'atmosfera libera col togliere la campana D. Il volume d'idrogene, che esce da B per la lamina C, sarà quattro volte maggiore del volume di aria, che contemporaneamente vi entra, e per conseguenza si diminuisce la pressione nell'interno del tubo, se questo si tiene immoto; ma se al contrario esso tubo un poco alla volta s'immerge sempre più nel mercurio, la pressione rimarrà eguale, diminuendo il volume del gas contenuto, ed in questo recipiente in fine non si troverà che aria, il volume della quale non sarà che la quarta parte di quello, che in principio dell'esperienza era occupato dall'idrogene.

212. Esperienza di Jamin. — Jamin dimostra il detto fenomeno di diffusione dei corpi gassosi col seguente apparato. Si prenda un vaso poroso di porcellana, e con un pennello si copra tutta la sua superficie esterna di uno strato di collodion. Tenendo il vaso P (fig. 144) rovesciato, si chiude la sua bocca con un turacciolo avente due fori. Per uno di questi entra in P un lungo tubo di vetro verticale B, il quale coll'altro estremo va a pescare nel vaso A, che contiene acqua colorata. Per il secondo foro penetra in P un secondo tubo ripiegato C, che va coll'altro estremo a comu-

nicare con un apparato H, in cui per mezzo dello zinco e dell'acqua acidulata con acido solforico si produce rapidamente il gas idrogene. In *r* avvi una chiavetta a tre aperture, mediante la quale può chiudersi il vaso H, o può mettersi in comunicazione con P, ovvero coll'aria atmosferica. Si faccia comunicare H con P: tosto l'idrogene passando per C, andrà in P, e ne discaccerà l'aria atmosferica, la quale percorrendo B ed attraversando il liquido contenuto in A, sfuggirà nell'atmosfera. Discacciata l'aria, l'idrogene stesso si disperderà per la medesima via, rimanendone però pieno il vaso P. Allora girando il robinetto *r*, s'interrompe la comunicazione tra H e P, facendo che il gas generato in H si disperda nell'atmosfera. Si vedrà ben tosto ascendere il liquido colorato per il tubo B fino all'altezza di più decimetri. Vi è adunque una diminuzione di pressione entro al vaso P, il che dimostra, che l'idrogene in esso racchiuso esce, attraversando le pareti del recipiente e lo strato di collodion con più prestezza dell'aria, la quale per le medesime parti vi penetra. Dopo che tutto l'idrogene si è dileguato dal vaso, l'aria seguita a penetrarvi, finchè la pressione interna non eguaglia l'esterna; ond'è che si vedrà, il liquido colorato in B tornare a riprendere l'antico livello.

ACUSTICA

CAPO I.

DEL SUONO IN GENERALE

213. Oggetto dell'acustica. — L'acustica è quella parte di Fisica, che si occupa del suono, della sua produzione, e della sua propagazione. Qualunque impressione piacevole o spiacevole, che si percepisce per mezzo dell'organo dell'udito dicesi *suono*. I suoni variano all'infinito; alcuni sono melodiosi, e si appellano *suoni musicali*, mentre gli altri si dicono *rumori*.

214. Vibrazioni del corpo sonoro. — Il suono è prodotto da una serie di vibrazioni, che hanno luogo nel corpo sonoro, le quali vibrazioni ora sono longitudinali (69), ora trasversali (74). Con molti esperimenti si può dimostrare, che le vibrazioni del corpo sonoro costituiscono la causa del suono. Si abbia una corda da violino o di metallo tesa e fissa ai suoi estremi: se noi la spostiamo dalla sua posizione di equilibrio, e poi la lasciamo libera, si sente subito un suono, ma in pari tempo la corda apparisce come rigonfiata verso il mezzo; il quale fenomeno proviene da che persistendo le impressioni luminose sull'occhio per circa un decimo di secondo, vediamo la corda simultaneamente in tutte le posizioni, che prende successivamente nei suoi rapidi movimenti. Si prenda in secondo luogo una campana di cristallo, e ad un punto della parete di essa si attacchi con cera un pendolino formato di un globetto di sambuco appeso ad un filo. Sfregando l'orlo della campana con un arco di violino, essa dà un suono, ed il saltellare del pendolino rende manifeste le vibrazioni della campana. Si sospenda una campana e si fissi assai vicino ad una punta di un'asta orizzontale, senza però toccarla. Confricando quella coll'arco, darà un suono, insieme al quale si odono i replicati colpi della campana contro la punta. Ponendo una mano sopra una grossa campana di bronzo dopo che il martello l'ha percossa, si sente un fremito, che percorre tutta la massa metallica. Possiamo anche ottenere, che il corpo sonoro lasci traccia dei suoi movimenti vibratorii. Un diapason o corista porta fissa all'estremo di una delle sue branche una punta metallica perpendicolare al piano, in cui giacciono le due branche stesse.

Si dia un urto al diapason, per cui si metta a sonare, e facciasi scorrere velocemente ed uniformemente nel senso della lunghezza delle branche una lastra di vetro coperta di nero-fumo. Se il corista non oscillasse, la punta traccerebbe nella detta lamina una linea retta, ma vibrando descrive una linea sinuosa regolarissima, che rappresenta le vibrazioni del diapason. Ciascun dente della curva è formato da due lineole rappresentanti i movimenti da sinistra a destra e da destra a sinistra della punta vibrante; i quali due movimenti formano una *vibrazione doppia*, mentre la *vibrazione semplice* è costituita da un solo dei due moti e rappresentata da una sola delle dette due linee. Noi considereremo per lo più le vibrazioni semplici. Si vede pure molto bene, che una lamina metallica, quando produce un suono, vibra assai rapidamente. Su di una lamina metallica quadrata tenuta orizzontalmente fissa in un punto si dispone un sottile strato di sabbia: poi poggiando un dito sopra un punto qualunque del suo perimetro, vicino a questo si sfrega la lamina coll'arco di violino: tosto si produce un suono; la sabbia va saltellando e poi si dispone in linee regolari, le quali sono le *linee nodali* (80) formate dai punti che non si muovono, mentre le altre parti collocate di qua e di là di una di tali linee si muovono in senso contrario, come avviene nei bracci di una bilancia che oscilli.

215. Il suono non si propaga nel vuoto. — Perchè il suono giunga all'organo dell'udito è necessario, che un corpo qualunque comunichi le vibrazioni del corpo sonoro all'orecchio; quindi è che il suono non si propaga nel vuoto. Ciò facilmente si dimostra col seguente apparato. Un pallone di vetro munito di un collo con chiavetta contiene un campanello sospeso ad un fascio di fili di seta. Per mezzo della macchina pneumatica si fa il vuoto nel pallone più perfettamente che sia possibile, dopo di che agitando il recipiente, quantunque si vegga il battaglio percuotere la campana, pure non si sente affatto il suono, il quale poi è tosto udito quando si faccia rientrare l'aria. Si può ancora provare l'esposta verità col porre sotto alla campana della macchina pneumatica una sveglia, facendola riposare sopra un corpo soffice.

216. Proprietà del suono. — Nel suono si distinguono tre proprietà principali cioè l'*intensità*, l'*altezza*, il *timbro* o *tempera* o *metallo*. L'intensità del suono è la proprietà d'impressionare l'orecchio con maggiore o minor forza; onde, ad esempio, si suol dire che il suono di una grossa canna d'organo è più intenso di quello reso dalla corda più lunga di un pianoforte. L'intensità dipende dall'ampiezza di vibrazione (70), in modo che più questa è ampia, più il suono è intenso. Si dia difatti un forte colpo ad una campana, o di molto si sposti dalla posizione di equilibrio una corda tesa: la campana e la corda sul principio hanno oscillazioni ampie, che vanno poi di continuo diminuendo di ampiezza. Ebbene, noi sul principio ascolteremo un tuono intenso, che va scemando e poi cessa col scemare dell'ampiezza delle vibrazioni e col cessare di queste. Un corista, che tracci le sue vibrazioni nella lamina di vetro annerito (214), allorchè emette un suono intenso descrive una curva a larghe dentellature, le quali al contrario sono strette se il suono prodotto è debole. L'altezza del suono è quella proprietà,

per la quale un suono è più o meno grave, più o meno acuto: ad esempio, si dice, che il suono di un clarino è più acuto di quello di un contrabbasso. L'altezza dipende dal numero delle vibrazioni fatte dal corpo sonoro nell'unità di tempo; poichè più grande è questo numero, più alto è il suono che ne nasce. Allorchè contemporaneamente si producono due suoni, l'orecchio molto facilmente conosce se l'uno è più acuto dell'altro, o pure se hanno l'istessa altezza, nel qual caso si dicono essere *all'unisono*, ed allora ciascuno dei due suoni è prodotto da un egual numero di vibrazioni. Finalmente il timbro o metallo è quella proprietà, per cui un suono si distingue da un altro, quantunque ambedue abbiano l'istessa intensità ed altezza. È per il timbro, che noi riconosciamo una persona dalla voce, e distinguiamo l'istrumento, che emette il suono. Vedremo in seguito (261), che il metallo dipende dalla forma delle vibrazioni.

CAPO II.

MISURA DEL NUMERO DELLE VIBRAZIONI

217. *Ruota di Savart* — 218. *Sirena di Cagnard de Latour* — 219. *Regolatore di Cavaillè-Coll* — 220. *Distinzione tra suono musicale e rumore* — 221. *Sirena doppia di Helmholtz* — 222. *Metodo grafico* — 223. *Applicazione di questo alla misura della velocità della corrente nervosa.*

217. Ruota di Savart. — Dovendo noi parlare in seguito dell'altezza del suono, c'interessa prima conoscere il modo, con cui si possono contare le vibrazioni, che hanno luogo nel corpo sonoro nell'unità di tempo, quando esso dà origine ad un dato suono. Si fa uso a tal uopo di alcuni apparati, che ora ci facciamo a descrivere, incominciando dalla *ruota di Savart*. Un volante munito di manovella mediante una fune senza fine mette in moto assai rapido una ruota dentata sostenuta da un telaio di legno. Si appoggia sulla periferia di questa ruota un cartoncino in guisa che l'urto successivo dei denti contro questo produca tante vibrazioni doppie, quanti sono i denti che passano. Un annesso contatore simile a quello, che descriveremo nell'apparato seguente, permette di contare i giri della ruota; onde sapendosi ancora il numero dei denti di quest'ultima, sarà facile calcolare il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un determinato suono, che venga prodotto dall'apparato. Essendo però cosa difficile l'ottenere un moto di rotazione regolare col volante, ed essendo pessimo il metallo dei suoni emessi da questo apparato, i fisici lo hanno quasi del tutto abbandonato.

218. Sirena di Cagnard de Latour. — La sirena di Cagnard consiste (fig. 145) in una scatola di rame A, entro alla quale viene

da un mantice soffiata l'aria per il tubo *a*. Il coperchio superiore di essa è un disco piano *d*, nel quale sono praticati 10 fori, che passano da una faccia all'altra, e che sono equidistanti fra loro e disposti in giro verso la periferia. Al disopra di detto disco ed al contatto del medesimo avvene un altro *b* suscettibile di rotare assieme ad un asse verticale *c*. Anche questo secondo disco è munito di 10 fori simili per la loro posizione e distanze a quelli del disco fisso inferiore. I 10 fori di *b* si potranno porre in coincidenza od in opposizione con quelli del disco fisso, e sarà per conseguenza o permessa od intercettata l'escita dell'aria dalla cassa. Soffiandosi aria dentro al tamburo A, il disco *b* e l'asse *c* si pongono a girare con una velocità corrispondente all'energia del soffio. Perchè ciò possa aver luogo i fori dei due dischi non debbono essere verticali, ma obliqui, facendo quelli di *d* con quelli di *b* un angolo retto, come viene indicato in M. L'aria soffiata nella cassa esce per ciascun foro del disco fisso, andando a battere perpendicolarmente sulla parete opposta del foro corrispondente del disco mobile. Si rappresenti con *af* la forza, con cui l'aria batte nella detta parete. Compiendo il rettangolo *akfv*, potremo decomporre essa forza *af* (28) nella *av* e nella *ak*. Mentre la prima di queste tende a sollevare il disco mobile e l'asse, diminuendo così l'attrito che va a soffrire il punto d'appoggio inferiore; la forza *ak* produce il moto rotatorio tanto più veloce, quanto maggiore è la quantità dell'aria soffiata nella cassa A. In ogni giro del disco mobile i fori 10 volte si chiudono ed aprono, e messo in attività l'apparato, ben tosto si comincia ad udire un suono grave sul principio, e che va di continuo facendosi più acuto col crescere della velocità di rotazione: il qual suono nasce da che ogni qual volta i fori dei due dischi si mettono fra di loro di fronte, l'aria che esce dai medesimi dà un'impulso all'aria esterna, e tale impulso è trasmesso all'orecchio; chiudendosi poi i fori, l'aria spinta ed addensata verso l'orecchio retrocede e si dilata per la sua elasticità. In cotal modo ad ogni apertura e successiva chiusura dei fori ha luogo una vibrazione doppia: e poichè, come si è detto, ad ogni giro del disco i fori si aprono e si chiudono 10 volte; per ogni giro si compiono 10 vibrazioni doppie, cioè 20 vibrazioni semplici. Per notare il numero dei giri compiuti in un dato tempo dal disco mobile, l'asse *c* porta superiormente una vite perpetua, che incastra nei denti della ruota *s*, la quale ha 100 denti, di uno dei quali si avanza per ogni giro dell'asse. Avvi una seconda ruota dentata *r*, che è indipendente dalla vite perpetua, e che avanza di un dente per ogni giro completo di *s*, perchè è spinta da un'appendice annessa a quest'ultima. Gli assi di queste due ruote portano un indice, e tali indici si muovono nei quadranti *m* ed *n* rappresentati in N, e che hanno tante divisioni, quanti sono i denti delle relative ruote. Ogni divisione adunque di *m* esprime un giro dell'asse ed ogni divisione di *n* ne indica 100, cosicchè mentre una divisione della prima ruota indica 20 vibrazioni, una divisione di *n* ne esprime 2000. Per conseguenza se dopo un certo tempo *t* l'indice *m* segna *p* divisioni e l'indice *n* ne segna p', il numero delle vibrazioni effettuate in quel dato tempo sarà espresso da $p' \times 100 \times 20 + p \times 20$. Un macchinismo semplicissimo permette di

far incastrare a nostro piacimento la ruota *s* nella vite perpetua o di far cessare quest'incastro. È annesso alla sirena un contatore a secondi, il quale è un apparato di orologeria, che ha due quadranti, di cui ciascuno porta un indice, che marca i secondi, e che può essere a piacere arrestato. Allorchè si vuol conoscere il numero delle vibrazioni necessario per avere un determinato suono, si comincia a far soffiare il mantice per il tubo *a* con tale energia da produrre quel suono. Ottenuto questo, con un movimento simultaneo si fa incastrare la ruota *s* colla vite perpetua, e si ferma uno dei due indici del contatore, e dopo breve tempo con altro simultaneo movimento si fa cessare l'incastro della ruota colla vite, e si ferma il secondo indice. Mentre gli indici *m*, *n* danno il numero delle vibrazioni, la differenza dei secondi marcati dagli indici del contatore esprime il tempo, durante il quale quelle vibrazioni sono state compiute. Al descritto apparato si è posto il nome di *sirena*, non già per il suo metallo, che non è piacevole, ma perchè si può far cantare anche fra l'acqua.

219. Regolatore di Cavaillè-Coll. — Onde la sopradescritta esperienza possa con facilità effettuarsi è necessario che la corrente soffiata nella cassa della sirena abbia una regolare ed uniforme intensità, e possa essere a piacere aumentata e diminuita in modo da potersi ottenere quel suono che vogliasi. Si raggiunge questo duplice scopo col *regolatore di Cavaillè-Coll*, che è così formato. Una cassa di legno di piccole dimensioni (fig. 146) è divisa da un tramezzo *c* in due cavità A, B. La cavità A per il tubo *b* comunica col mantice, e la cavità B per il tubo *d* colla cassa della sirena. La parete superiore della detta cassetta ha due fori *o*, *o'* posti uno di qua, uno di là del tramezzo *c*, e forma una delle due pareti rigide di un soffietto, per mezzo del quale le cavità A, B comunicano fra loro. La seconda parete rigida di questo soffietto porta un regolo RS, lungo il quale può scorrere un contrappeso G, il cui effetto sarà tanto maggiore, quanto più esso contrappeso si discosta dalla cerniera T. Alla medesima seconda parete rigida sta annessa una valvola, che va a chiudere il foro *o* quando essa parete ha raggiunto un certo grado di distanza dalla prima. È ben chiaro il modo d'agire del regolatore. L'aria, che entra per *b*, va al soffietto, ed il contrappeso G, impedendo il gonfiamento di questo, spinge l'aria per l'apertura *o'* nella cavità B, e da questa per il tubo *d* al tamburo della sirena. Se l'aria entrasse per *b* con troppa veemenza, vincerebbe la resistenza del contrappeso, ed il soffietto gonfiandosi farebbe chiudere la valvola, che lo mette in comunicazione colla cavità A: per il che non è già l'energia, con cui l'aria è spinta in A quella che la spinge in B, ma è l'azione del contrappeso G, la quale è costante. Quando si voglia crescere il soffio dell'aria nel tamburo, o si voglia diminuire, basterà allontanare od avvicinare proporzionatamente alla cerniera T il contrappeso G.

220. Distinzione tra suono musicale e rumore. — La sirena ci fa conoscere la vera distinzione tra il suono musicale ed il rumore. Allorchè si fa agire la sirena, sul principio, cioè quando piccola è la velocità del disco girevole, non s'intende alcun suono; ma quando aumentandosi la velocità di rotazione, si giunge ad

avere circa 32 vibrazioni semplici al secondo, si comincia ad udire un suono, la cui altezza va crescendo colla velocità suddetta. Che se invece del disco a fori equidistanti si pone nell'apparato un disco girevole M (fig. 147), i cui fori non sono fra di loro ad eguale distanza, non si avrà più un suono musicale, ma un rumore. Si potrà pertanto dedurre da ciò, che il suono musicale ha origine da vibrazioni che si ripetono ad intervalli regolari, mentre il rumore è costituito da vibrazioni, che si succedono ad intervalli di tempo disuguali. Notare però dobbiamo, che spesso il suono musicale è accompagnato da qualche rumore proveniente da alcune vibrazioni, le quali si ripetono irregolarmente di tratto in tratto. La voce umana è composta di suoni musicali e di rumori, poichè, come in altro luogo vedremo (273, 274), le vocali sono suoni musicali, e le consonanti rumori. Quando si parla preponderano i rumori, ed i suoni musicali quando si canta. Un orecchio esercitato distingue dei suoni musicali anche nei rumori, perchè fra tante vibrazioni succedentisi ad intervalli irregolari, alcune ve ne sono, che hanno luogo ad intervalli di tempo eguali. Ad esempio se nel disco M esistessero soltanto i fori *a*, *b*, *c*, *d*, trovandosi questi ad eguali distanze, darebbero luogo ad un suono musicale. Sono gli altri fori quelli che colla loro irregolare posizione tolgono la purezza al detto suono, e lo convertono in un rumore.

221. Sirena doppia di Helmholtz. — Helmholtz ha fatto costruire una sirena più complicata, di cui ora daremo la descrizione, riserbandoci a dirne l'uso in altro luogo (244). Si compone questo apparecchio (fig. 148) di due sirene A, B, i cui dischi differiscono da quelli di una sirena semplice in quanto che invece di una sola serie di fori ne hanno quattro, come vedesi in M, disposti in quattro circonferenze concentriche. Nel disco girevole e coperchio di A le quattro serie di fori contengono per ordine a partire dall'orlo la prima 16, la seconda 15, la terza e la quarta 12 fori. Le serie dell'altro tamburo B contengono invece corrispettivamente 18, 12, 10, 8 fori. Questi sono tagliati in isbieco come nella sirena semplice. Sono le due sirene A, B opposte l'una all'altra, ed i due dischi mobili sono fissati ad un medesimo asse girevole *pp'*. L'aria viene soffiata ad un tempo nei due tamburi per mezzo dei tubi C, C'. In ciascuno di essi tamburi immediatamente sotto al coperchio sono incastrati quattro anelli piatti scorrevoli l'uno entro l'altro, ed ogni anello porta tanti fori, quanti sono quelli della serie, sotto cui si trova, e tagliati in modo da poter formare i prolungamenti di questi. Una molletta che agisce su ciascun anello tende a tenerlo in tal posizione, che i suoi fori cadano sotto gli spazii pieni del coperchio, cosicchè i fori di quest'ultimo rimangano chiusi dagli spazii pieni dell'anello. Premendo sopra uno dei bottoni *m*, *m'*..... si spinge in dentro la verghetta annessa, e con ciò si ottiene di spostare alquanto l'anello corrispondente, vincendo il contrasto della molla, e proprio di tanto che basti a portare i fori dell'anello in coincidenza con quelli del coperchio. Cessando di premere il bottone, la molletta reagisce, e quei fori tornano ad esser chiusi. Si può così mettere in azione per ciascun tamburo piuttosto una che un'altra delle serie dei fori, o porne in azione parecchie, pro-

ducendo ad un tempo suoni di diversa altezza, i quali sono rinforzati da due risonatori R, R', di cui si farà altrove parola (258), e che hanno la forma di due semicilindri cavi annessi ai due tamburi. Di più mentre girano i due dischi mobili, il tamburo A per mezzo della manovella P e di due ruote dentate può concepire un moto rotatorio nel senso del proprio disco girevole, od in direzione contraria. Ben si comprende, che nel primo caso, accompagnando il disco fisso il mobile, le aperture e successive chiusure dei fori avvengono ad intervalli maggiori, onde il suono viene ad essere tanto più grave, quanto minore è la differenza dei due dischi, fisso e mobile, in modo che se questi procedono con eguale velocità, i fori rimarranno o sempre chiusi o sempre aperti, e cesserà ogni suono. Nel secondo caso al contrario gli intervalli di tempo tra un'apertura e l'altra dei fori saranno più brevi, e perciò sarà maggiore il numero delle vibrazioni fatte in un dato tempo, onde ne risulterà un suono tanto più acuto, quanto minore è la differenza delle due velocità.

222. Metodo grafico. — Duhamel per contare le vibrazioni corrispondenti ad un dato suono ha immaginato il metodo grafico già di sopra accennato (214). A tale scopo è necessario comunicare ad un cilindro un moto rotatorio rapido e perfettamente uniforme. Ciò si ottiene con un apparato dovuto a Foucault, e che consiste in un congegno d'orologeria posto in movimento da una molla a spira. Da questo apparato sporgono lateralmente alcuni assi, che ruotano con diversa velocità, in guisa che, ad esempio, a fare un giro un asse impiega un secondo, un altro un mezzo secondo ecc. All'asse, che impiega un secondo a compiere un giro, si annette un cilindro cavo metallico sostenuto orizzontalmente, il quale per conseguenza impiegherà un secondo a fare un giro intorno al proprio asse. Si copre la superficie laterale di questo cilindro con un foglio di carta annerita col nero-fumo, ed allorchè esso è posto in movimento, gli si avvicina un corista munito di punta ed avente le branche verticali ed in un piano parallelo alla generatrice del cilindro stesso, la cui superficie è toccata dalla punta. Fatto sonare il diapason, la punta traccierà nel nero-fumo una linea dentellata. Basterà contare le lineole formanti i denti nella lunghezza di una circonferenza per conoscere il numero delle vibrazioni semplici eseguite dal diapason in un secondo. Che se si volesse conoscere il numero delle vibrazioni, che hanno avuto luogo in più secondi, bisognerebbe far muovere il corista uniformemente e parallelamente all'asse del cilindro, nel qual caso la linea dentata verrebbe ad essere un'elica. Con questo modo si può verificare se il cilindro si muova uniformemente o no. Basta a tale intento prendere con il compasso una data parte della linea sinuosa, e contare i denti in essa parte contenuti. La medesima lunghezza si trasporta lungo tutta la linea, e se in queste parti eguali è sempre contenuto un egual numero di denti, il moto del cilindro sarà stato perfettamente uniforme. Un bel vantaggio si può ritrarre da questo metodo, ed è che noi possiamo con esso misurare un tempo estremamente piccolo. Si faccia tracciare nel cilindro una circonferenza dentata da un corista, che ad esempio faccia duecento vibrazioni semplici al secondo. Se in questo tempo

il cilindro fa un giro, la linea descritta avrà da una parte 100 denti eguali se il moto è stato uniforme, disuguali se il moto è stato vario. Se si conducano due generatrici, che partano dalla sommità di due denti attigui presi da una medesima parte della linea, saremo sicuri, che la punta ha percorso quello spazio mentre si sono eseguite due vibrazioni semplici, ossia in un centesimo di minuto secondo.

223. Applicazione del metodo grafico alla misura della velocità della corrente nervosa. — Helmholtz ha fatta una bella applicazione di questo metodo, misurandoci il tempo impiegato da un nervo motore a produrre il movimento di un muscolo, ed a trasmettere per così dire, l'ordine della volontà. Si vedrà in appresso (433), che una corrente elettrica, che passa per un filo metallico, induce in un secondo filo ad esso vicino una corrente istantanea quando essa incomincia, ed un'altra quando cessa. Ciò accennato, sia *n* (fig. 149) un muscolo isolato di una rana, ad esempio, il gastronemio fisso nella sua inserzione superiore per mezzo di una pinzetta, e congiunto con il suo tendine al braccio più corto di una leva *o*I la cui punta I piegata alquanto traccia in un cilindro simile al precedente, allorchè questo gira, una linea circolare, purchè il muscolo non si contragga. Ma se nasce una contrazione, la punta I piegherà verso la nostra destra vincendo la resistenza della molla a saltaleone *r*, che tende a ritenerla al posto, e si comincierà a descrivere un dente. Il nervo sciatico trovasi isolato, e riposa sopra due punte di platino *p*. Una seconda leva *o'*P è simile alla prima, ed una molla *s* la tiene sempre in contatto con un pezzo metallico *de*, dal quale la possiamo distaccare, premendo il bottone *v*. Una pila di Volta E (394) con il suo polo positivo sta in comunicazione colla leva *o'*P, e dal pezzo metallico *de* parte un filo di metallo vestito di seta, il quale dopo di aver fatto molti giri *b* intorno ad un rocchetto va a terminare al polo negativo della pila stessa. Un secondo filo metallico pure coperto di seta forma una seconda elica *b'*, che avvolge la prima e con i suoi due estremi va a comunicare colle due punte di platino *p*. Da questa disposizione risulta, che fino a tanto che la leva *o'* P tocca il pezzo metallico *de*, la corrente passa di continuo nella direzione indicata dalle frecce, e per ciò nessuna corrente indotta passa per l'elica *b'*, onde, girando il cilindro, le due punte I, P tracceranno due circonferenze vicine e parallele. Si supponga che il cilindro nella parte anteriore ruoti dall'alto al basso, e che si prema il bottone *v*: la punta P descriverà un arco. Si sarà con ciò interrotta la corrente, e quindi una corrente indotta passerà per *b'*: questa ecciterà il nervo sciatico, il quale farà contrarre il muscolo, e per ciò anche la punta I dovrà descrivere una curva. Se la contrazione del muscolo fosse contemporanea all'interruzione della corrente, gli spostamenti degli indici sarebbero simultanei, e quindi le due curve descritte si troverebbero nella medesima generatrice *dn* del cilindro (fig. 150); ma invece si osserva, che la seconda punta descrive la curva *b* in un'altra generatrice *bo* e per ciò si deve conchiudere, la contrazione essere stata in ritardo. Vediamo di quanto. Vicino alle dette due punte I, P (fig. 149) si pone il corista Q, che compia

200 vibrazioni semplici per secondo; esso descriverà sul cilindro la linea sinuosa *pm* (fig. 150). Ciascun dente di questa, presi i denti da una medesima parte, esprime due vibrazioni semplici, e per ciò sarà descritto in un centesimo di secondo: per la qual cosa trovandosi le due generatrici *dn*, *bo* distanti ad esempio per 5 denti, ne dedurremo che la contrazione ha avuto luogo 5 centesimi di secondo dopo l'interruzione della corrente induttrice. Si applichino dopo ciò le punte di platino *p* in un altro punto del nervo sciatico il più lontano possibile dal muscolo, e si misuri con esattezza la lunghezza della parte del nervo intercettata fra i due punti di applicazione, e poi si ripeta l'esperienza. Se l'ordine di movimento trascorresse l'aggiunta lunghezza del nervo senza impiegarci alcun tempo, le due curve *h* ed *f* dovrebbero trovarsi all'istessa distanza di prima; ma invece vediamo, che la detta distanza è cresciuta, essendo divenuta *np*; e se l'eccesso è, ad esempio, di 2 denti, si avrà avuto un ritardo di 2 centesimi di secondo; durante il qual tempo, l'ordine di movimento avrebbe percorso il tratto di nervo interposto fra i due punti eccitati nei due diversi esperimenti. Si comprende poi che in un secondo intero l'ordine avrebbe percorso un tratto 50 volte maggiore. Helmholtz avrebbe trovato, che la velocità dell'agente nervoso è di metri 24,04 al secondo; ma Marey ha sperimentato, che in alcuni casi tal velocità varia dai 12 ai 14 metri.

CAPO III.

INTENSITÀ E PROPAGAZIONE DEL SUONO

224. Intensità del suono. — Si è già veduto (215), che il suono non si propaga nel vuoto. essendo necessario, che le vibrazioni sonore siano trasmesse all'orecchio attraverso di un mezzo sia gassoso, sia liquido, sia solido. Dalla densità del mezzo dipende in gran parte l'intensità del suono, essendo questa tanto maggiore, quanto quella è più grande. Dicemmo (216) provenire l'intensità del suono dall'ampiezza delle vibrazioni; il che è vero quando si tratti di onde sonore, che si effettuino in un medesimo mezzo, nel qual caso le vibrazioni più ampie generano un suono più intenso di quello che nasce da meno ampie oscillazioni. Che se vibrazioni

di eguale ampiezza hanno luogo in due mezzi di diversa densità, sarà più intenso il suono, che si genera nel mezzo più denso. Difatti togliendosi l'aria da un recipiente di vetro, dentro al quale si agiti una piccola campana, il suono di questa si affievolisce sempre di più a misura che si aumenta la rarefazione dell'aria. Molti viaggiatori hanno osservato sulle alte montagne, e gli aeronauti nelle elevate regioni dell'atmosfera, che a grandi altezze i suoni perdono assai della loro intensità: Saussure trovò, che sulla cima del Monte Bianco a 4800 metri sopra al livello del mare un colpo di pistola non produce un rumore maggiore di quello che suol generarsi da un ordinario fulminante alla base della montagna. Nell'aria compressa invece il suono è notevolmente rinforzato, e colui che parla in questo mezzo prova una resistenza al movimento delle labbra e la voce acquista una tempera spiacevole, come altrove si è notato (170). Priestley empì d'idrogene un pallone, entro al quale era un campanello, e conobbe che il suono appena era udito, per essere il detto gas 14 volte meno denso dell'aria; e Pilatre de Rozier avendo aspirato grande quantità dello stesso gaz, si accorse che la sua voce era divenuta debole e nasale. Essendo l'aria più densa alla base di una montagna di quello che lo sia alla cima, ne viene più facilmente propagarsi il suono dalla base del monte alla cima, che dal vertice alla falda, perchè più intenso è il suono al momento della sua produzione nel primo caso che nel secondo. I suoni sono uditi con maggiore intensità nella notte che nel giorno, e secondo Humboldt ciò si spiega da che nel giorno l'aria riscaldata in modo non uniforme dai raggi solari e dall'irradiazione del suolo perde la sua omogeneità, e per ciò in seno di essa nascono delle riflessioni e rifrazioni (77, 84), che indeboliscono il suono. Altri opinano, che il fenomeno sia dovuto al mancare nelle notti tutti quei rumori confusi, i quali hanno luogo nel giorno: ma Humboldt risponde col notare il fatto dei paesi tropicali, ove abbondano le fiere, che per la loro natura fanno più rumore nella notte che nel giorno, eppure colà lo strepito delle cateratte dell'Orenoco è udito alla distanza di oltre 4000 metri con una intensità tripla nella notte di quella del giorno. Probabilmente un tal fenomeno deve essere attribuito all'azione simultanea di più cause, non ultima delle quali è per certo la più bassa temperatura, la quale rende più densa l'aria. Il capitano Parry racconta, che nelle regioni polari egli potè tenere conversazione a voce ordinaria con persone distanti da lui per metri 1600, ed il suo compagno Foster riferisce, che a Port-Bowen ad una temperatura di —28° C. conversò con un marinaio alla distanza di 2040 metri.

Siccome i liquidi sono più densi dei gas, ed i solidi in generale lo sono più dei liquidi; così è che con maggiore intensità il suono si propaga per mezzo dei liquidi, che per mezzo dei gas, e con maggiore ancora per mezzo dei solidi. Difatti immergendo la testa nell'acqua in una riviera, benissimo si sente il rumore, che è prodotto sulla spiaggia. Allorchè si spara il cannone in un porto, il fragore si propaga assai più lontano per l'acqua che per l'aria. Se si appoggia l'orecchio ad un estremo di un tronco d'albero atterrato, e nell'altro estremo si sfrega leggermente il legno con una

spilla, il suono attraverso di quel corpo solido conserva molto bene la sua intensità, ed è ben percepito dall'orecchio.

225. Influenza della direzione del vento. — Un'altra causa, che esercita influenza nell'intensità del suono, è la direzione del vento. Egli è certo che un suono è udito con maggiore intensità da un osservatore, il quale trovasi nella direzione verso cui spira il vento, che da colui il quale è posto in direzione contraria. Dalle osservazioni fatte in una pianura di Parigi risultò, che l'influenza del vento è quasi nulla per distanze inferiori a 6 metri, e che al contrario la detta influenza è notevole a maggiori distanze ed è a queste proporzionale. Tale influenza poi è più sentita dai suoni deboli, che dagli intensi. È d'altronde un fatto assai notevole, che il suono si propaga meglio nell'aria tranquilla, che quando spira il vento, cosicchè possiamo conchiudere, che qualunque sia la direzione del vento, questo diminuisce sempre l'intensità del suono, ma meno nella direzione verso cui spira, più nella direzione, opposta. Derham verificò, che a Porto-Ferraio in tempi calmi udivansi molto meglio i colpi di cannone di Livorno che allorquando da Livorno spirava il vento.

6 **226. Intensità del suono a varie distanze.** — Ha pure grandissima influenza sull'intensità del suono la distanza che passa tra il corpo sonoro e l'orecchio. Allorchè si produce un suono, questo viene udito in qualunque parte ci poniamo relativamente alla sorgente sua. Ciò fa conoscere, che le onde sonore sono sferiche (72), e che quindi l'intensità del moto ondulatorio deve essere nella ragione inversa delle superficie sferiche, che lo costituiscono: ma insegna la geometria, che le superficie sferiche concentriche sono nella ragion diretta dei quadrati dei loro raggi: dunque l'intensità del suono è nella ragione inversa del quadrato della distanza, che separa il corpo sonoro dall'orecchio.

227. Tubi acustici. — Perdendo il suono la sua intensità col crescere della distanza, allorquando dovremo far sentire la nostra voce in un punto lontano, sarà necessario ricorrere all'uso di alcuni apparati. Si è potuto conoscere, che se il suono è costretto a propagarsi entro ad una massa limitata di aria racchiusa in un tubo, esso perde pochissimo d'intensità colla distanza, perchè le onde sonore non possono più spandersi in sfere concentriche, ma si propagano in strati piani e paralleli. Da qui è venuto l'uso di lunghi tubi di metallo, o di gomma elastica, chiamati dagli inglesi *tubi parlanti*, per mezzo dei quali si può discorrere a voce naturale con persone collocate a notevoli distanze. Biot in un sistema di tubi di ghisa formanti una lunghezza di 951 metri verificò, che la voce perdeva sì poco della sua intensità, che a suo dire per non essere udito da un capo all'altro non vi era altro mezzo, che non parlare. Tirato un colpo di pistola in un'estremo di esso sistema di tubi, l'aria cacciata con forza dava origine all'altra estremità ad un soffio o vento capace di estinguere una candela e di lanciare a distanza corpi leggieri. Sono usati i tubi acustici nei grandi stabilimenti per trasmettere gli ordini da un luogo ad un altro.

228. Portavoce. — Anche il *portavoce* o *tromba stentereofonica*, apparato secondo alcuni noto fino dai tempi di Alessandro il

Grande, e secondo altri immaginato circa il 1670 da Samuele Morland, ha per scopo d'impedire la perdita del suono in modo da fare udire la voce a grandi distanze. Esso consiste in un tubo di metallo od anche di cartone in forma di tronco di cono molto allungato, il quale dalla parte più larga porta un padiglione a guisa di tromba, ed all'altra estremità una specie d'imboccatura, in cui pone la bocca colui che parla. Tale istrumento è soprattutto usato dai naviganti per farsi udire da lungi anche ad onta del rumore del vento e dei flutti. Si suol dire, che esso serve a rendere i raggi sonori paralleli all'asse del tronco di cono; ma se ciò fosse, l'apparato rinforzerebbe il suono soltanto nella direzione del detto asse, mentre realmente lo rinforza in ogni senso: di più secondo questa teoria il padiglione sarebbe senza alcuna influenza; il che la pratica mostra esser falso.

229. Corno acustico. — A percepire un suono poco intenso, perchè proveniente da grande distanza, e per coadiuvare l'organo dell'udito, quando siasi indebolito, si adopra il *corno acustico*, consistente in un tubo metallico conico, e per lo più ripiegato sopra sè stesso in varie guise, per renderlo meno incomodo, e terminante in un padiglione. La persona che ascolta introduce l'estremo del tubo nell'orecchio, e volge il padiglione alla parte da cui viene il suono; al qual padiglione la persona che parla avvicina la bocca, se trattisi di farsi sentire da un sordo. L'impulso comunicato all'aria racchiusa nel corno va concentrandosi in strati sempre più piccoli, fichè acquista il massimo d'intensità all'orificio, da cui passa all'orecchio.

230. Velocità del suono nell'aria. — Dopo di aver parlato dell'intensità del suono, dobbiamo tener discorso della velocità con cui si propaga. Tale velocità cambia col variare dei mezzi, e si è determinata con esperimenti diretti. La velocità, colla quale il suono percorre l'aria, fu misurata nel 1738 dai membri dell'accademia delle scienze di Francia. Furono scelte quattro stazioni, cioè Montmartre, l'Osservatorio, Fontenay-aux-Roses, e Monthéry. In ogni dieci minuti alle stazioni estreme ed alternativamente si tirava un colpo di cannone, e siccome l'esperimento si faceva di notte, gli osservatori di ciascuna stazione vedevano contemporaneamente il lampo, non essendo affatto calcolabile il tempo impiegato dalla luce a percorrere lo spazio, che separava una stazione dall'altra (741). Adunque il momento, in cui si vedeva il lampo era quello, nel quale si produceva il fragore. Si notava questo tempo in un cronometro. Dopo alcuni istanti si sentiva la detonazione, e si leggeva nel cronometro stesso il numero dei secondi, che passavano dall'apparire della luce e l'udirsi del colpo. Questo numero di secondi era impiegato dal suono a percorrere lo spazio, che separava una stazione dall'altra, il quale spazio si era esattamente misurato. Dividendo questo per il suddetto numero di secondi, si venne ad avere lo spazio percorso dal suono in un solo secondo, ossia la sua velocità di propagazione (17). Si ebbero poi i seguenti risultati: 1° la velocità ottenuta tra due stazioni vicine risultò conforme a quella ottenuta tra le due stazioni estreme; onde si conobbe, la propagazione succedere con moto uniforme (17):

2° la velocità del suono alla temperatura zero risultò di 333 metri per secondo: 3° la suddetta velocità non dipende dalla pressione e dallo stato igrometrico dell'aria. I membri dell'Officio delle longitudini di Parigi nel 1822 ripeterono l'esperimento, ed essendo di 16° la temperatura, trovarono che la velocità del suono era di metri 340,88 per secondo. Alla temperatura di 26°, secondo Wertheim, il suono percorre nell'aria 347 metri per secondo. La temperatura adunque col crescere fa aumentare la velocità del suono. Si è costruita una formola semplicissima, per mezzo della quale, nota la velocità del suono nell'aria a zero, si rinviene quella che ha luogo ad una temperatura qualunque t. Se si chiami con v questa velocità essa sarà espressa da $v =$ metri $333 \sqrt{1 + t \times 0{,}00366}$.

Se il vento spira nel senso della propagazione del suono, si deve aggiungere la velocità del vento a quella che ha il suono nell'aria tranquilla; invece da questa si sottrae quella quando il vento soffia in direzione contraria.

Si avverta qui, che la velocità dei suoni è la stessa, qualunque sia l'intensità, l'altezza e la tempera dei medesimi. Biot per verificare ciò ascoltava ad un'estremità di quel lunghissimo tubo, di cui abbiamo parlato (227) un'aria suonata da un flauto nell'altro estremo. I suoni giungevano al suo orecchio, conservando il loro ritmo armonioso, mentre, se varia fosse la velocità secondo le varie altezze ed intensità, non avrebbe dovuto percepire che suoni confusi. Noi sentiamo bene l'armonia di un'orchestra, che suoni da lontano. Che frastuono si produrrebbe, se la velocità del suono dipendesse dalla diversità d'intensità, altezza e timbro?

231. Velocità del suono nei liquidi. — Colladon e Sturm hanno determinata la velocità del suono nell'acqua, eseguendo nel 1827 la seguente esperienza nel lago Lemano. Due battelli erano ancorati ad una distanza ben nota di 13487 metri tra loro. Uno di questi sosteneva una campana di bronzo immersa nell'acqua, ed era fornito di una leva a gomito, ad un estremo della quale era unito un martello, mentre all'altro braccio di leva, che emergeva dal liquido trovavasi congiunta una miccia accesa. L'altro battello portava una specie di corno acustico col padiglione chiuso da sottile membrana. Un osservatore applicava l'orecchio all'estremo del corno sporgente dal liquido, e volgeva il padiglione immerso nell'acqua verso l'altro battello. Un altro individuo in questo secondo battello, movendo la leva, contemporaneamente faceva percuotere dal martello la campana, ed accendere dalla miccia un mucchio di polvere. Mediante un cronometro il primo osservatore misurava l'intervallo di tempo scorso tra l'apparire della luce ed il giungere del suono al suo orecchio attraverso dell'acqua. Dividendo lo spazio frapposto ai due battelli per il detto intervallo di tempo calcolato in secondi, si ebbe la velocità del suono nell'acqua, la quale velocità si trovò quasi quadrupla di quella del suono nell'aria.

232. Velocità del suono nei solidi. — Nei solidi la velocità del suono è ancora più grande. Applicando l'orecchio contro il suolo, si può udire il rumore del cannone anche alla distanza di 40 chilometri. Le parti ossee della testa trasmettono assai facilmente i suoni all'orecchio, e perciò due persone, che tengano fra

i denti gli estremi di un regolo di legno possono udirsi a molta distanza sebbene parlino a voce bassissima. Quando non siavi paralisi del nervo acustico, i sordi odono bene attraverso dei denti. Tali fatti però provano solo la proprietà dei solidi di trasmettere i suoni; ma la velocità di propagazione dell'onde sonore nei solidi si rende manifesta da un esperimento di Biot e Martin. Si dava un colpo di martello ad un estremo del lunghissimo tubo, di cui di sopra si è parlato (227), ed un osservatore posto all'altro estremo udiva due suoni, uno trasmesso per il metallo, e l'altro per l'aria. Il primo giungeva due secondi e mezzo avanti all'altro, e da ciò si potè con facile calcolo dedurre la velocità della propagazione del suono per il ferro fuso, di cui quel tubo era formato; la quale velocità risultò di 3202 metri per secondo, ossia presso a poco 10 volte più grande di quella che ha luogo nell'aria.

233. Forma dell'onde sonore. — Si è detto di sopra (212) che le vibrazioni del corpo sonoro possono essere o trasversali o longitudinali. Trasmesse però queste all'aria addivengono sempre longitudinali e sferiche, per cui si debbono considerare come consistenti in onde concentriche alternativamente addensate e diradate, e senza che vi sia alcun trasporto di materia.

234. Eco. — Vedemmo noi (77), che un sistema di onde, allorchè nel suo cammino s'imbatte in un ostacolo fisso, si riflette. Succede il medesimo fenomeno anche nell'onde sonore, le quali riflettendosi producono l'*eco*. Una fortuita combinazione di ostacoli fissi, che rimandino indietro una o più volte i raggi sonori, può dare origine ad una o più ripetizioni di un suono. Incominciamo a considerare il caso, in cui uno sperimentatore sia posto ad una certa distanza da un ostacolo fisso. Se egli emette un suono, questo va all'ostacolo, si riflette e torna d'onde partì, ed urtando nell'orecchio dell'osservatore, fassi al medesimo udire per la seconda volta. Siccome per pronunciare una sillaba è necessario un decimo di secondo; ne viene che per avere la ripetizione della sillaba in modo, che non si confonda col suono udito direttamente, fa d'uopo che il suono nell'andare e nel tornare impieghi almeno un decimo di secondo, e quindi nel solo andare ne spenda un ventesimo. E poichè alla temperatura ordinaria il suono percorre in un secondo 340 metri (230), in un ventesimo di secondo ne percorrerà 17. L'ostacolo adunque dovrà trovarsi a questa distanza dall'osservatore, perchè siavi eco possibile. Questa distanza è veramente bastante per un suono brevissimo, come un colpo di pistola, una sillaba isolata; ma non basta se trattisi di suoni articolati. Invero se una sillaba isolata si pronuncia in un decimo di secondo, quando se ne debbano pronunciare parecchie, perchè siano udite distintamente, non se ne possono proferire che cinque al secondo, e perciò è necessario, affinchè l'eco sia distinto, che la voce impieghi un quinto di secondo tra l'andata ed il ritorno; il che è quanto dire, che l'ostacolo deve essere distante dall'osservatore per 34 metri. In questo caso però non si ode distinta che l'ultima sillaba riflessa, cioè l'eco è *monosillaba*. Se l'ostacolo si trovi alla distanza di metri 2×34, 3×34..... l'eco è *bisillaba*, *trisillaba*..... L'eco poi dicesi *multipla* quando ripete più volte l'istesso suono. l'istessa pa-

rola, ed è dovuta a parecchi ostacoli fissi collocati a diverse distanze, i quali o agiscono separatamente ed indipendentemente l'uno dall'altro, ovvero agiscono di concerto, riflettendosi l'uno verso l'altro i raggi sonori. È indifferente poi, che la superficie, da cui nasce l'eco, sia piana o curva, solida o liquida ecc. Una fila di alberi, una collina, una gola di monti coperta di piante dànno spesso origine a tale fenomeno.

Se la distanza, a cui trovasi l'ostacolo fisso, è minore di 17 metri, non vi può essere eco, come abbiamo già detto; ma siccome la riflessione non cessa dal prodursi, le onde dirette e riflesse si sovrappongono, e ne nasce un suono *rinforzato*. Il locale, che favorisce questo fenomeno, dicesi *sonoro*, e *sordo* od *ottuso* quello, che tale effetto impedisce. Le cortine, gli arazzi, i tappeti, ed in genere i corpi molli impediscono la riflessione del suono, e quindi rendono il locale sordo.

235. Fochi acustici. — Siano m, m' due specchi sferici concavi (fig. 151), od anche parabolici, l'uno collocato dirimpetto all'altro ad una notevole distanza. Due punti s, s' si chiamano i *fochi* degli specchi, e vedremo in ottica (747) come questi si possano determinare per gli specchi sferici. Posto in s un orologio, un orecchio collocato in s' sentirà molto distintamente il rumore prodotto dall'orologio, il quale non sarebbe così bene udito in qualunque altro punto l'orecchio si ponesse. Ecco la ragione di questo fenomeno. I raggi sonori partiti da s soffrono una prima riflessione sullo specchio m, procedono poi parallelamente alla retta ss', subiscono una seconda riflessione sullo specchio m' e vengono quindi a concentrarsi tutti in s'. Così sovrapposti ed accumulati acquistano sufficiente intensità per poter essere distintamente percepiti dall'orecchio. Un consimile fenomeno si ha sotto una volta ellittica. Due individui posti nei due fuochi ellittici, e volgentisi mutuamente le spalle, si odono fra loro con massima facilità, quantunque parlino a voce assai sommessa, e gli uditori intermedii nulla sentono. Avviene ciò perchè tutti i raggi, che partendo da un foco, battono sulla superficie ellittica, si riflettono, e come insegna la matematica, perchè gli angoli di riflessione siano eguali a quelli d'incidenza (79), debbono riunirsi necessariamente nell'altro foco.

CAPO IV.

INTERVALLI MUSICALI

236. Limiti dei suoni percettibili. — Si è detto (216, 218), che i suoni sono tanto più acuti, quanto è più grande il numero

delle vibrazioni che si producono. Non sono poi d'accordo i fisici nel determinare i limiti dei suoni percettibili. Questi erano prima fissati tra 32 vibrazioni semplici per secondo per il suono più grave, e 18000 per il più alto. Di poi fu conosciuto, che i detti limiti non sono assoluti, ma variano secondo i diversi individui e secondo l'ampiezza delle vibrazioni. Despretz ha creduto di portare il limite dei suoni acuti a 73000 vibrazioni, ma la cosa sembra alquanto esagerata. Koenig ha fissati i detti confini tra 60 e 40000 vibrazioni al secondo. I suoni del violino sono limitati tra 400 e 6000 vibrazioni, e quelli del contrabbasso fra 80 e 350. In generale si può stabilire, che tutti i suoni aventi un carattere veramente musicale sono compresi fra 80 ed 8500 vibrazioni al secondo.

337. Gamma musicale. — Dicesi *intervallo* tra due suoni il rapporto che passa tra i numeri esprimenti le vibrazioni, che debbono aver luogo in un medesimo tempo, affinchè si abbiano i suoni suddetti. Si appella poi *gamma* o *scala musicale* una serie di suoni separati fra di loro da determinati intervalli, i quali suoni si riproducono di sette in sette, seguendo sempre il medesimo ordine. Guido d'Arezzo monaco benedettino nel 1026 ha dato a questi suoni, che si chiamano note, i nomi seguenti *Ut* (che ora dicesi *do*,). *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*. Si è conosciuto, che mentre il suono più grave, cioè il *do*, fa un'ondulazione, le altre note ne eseguiscono un numero espresso dalle seguenti frazioni

do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*.

$$1, \ \frac{9}{8}, \ \frac{5}{4}, \ \frac{4}{3}, \ \frac{3}{2}, \ \frac{5}{3}, \ \frac{15}{8}, \ 2.$$

La suddetta serie delle sette note seguìta da un'altra nota che corrisponde ad un numero di vibrazioni doppio di quello del primo *do* appellasi *ottava*.

238. Accordo. — Allorchè due o più suoni prodotti contemporaneamente o successivamente fanno provare all'orecchio una sensazione piacevole, si dice, i detti suoni formare un *accordo*; ma se al contrario la successione o la sovrapposizione di più suoni è sgradevole, si dice esservi *dissonanza*. L'esperienza ha poi insegnato, che quando due note sono costituite da numeri tali di vibrazioni, che quello della prima ha un rapporto semplice con quello della seconda, come se questo rapporto fosse ad esempio 1 : 2, esse note formano accordo; che se invece un tal rapporto non è semplice ma espresso da numeri elevati, come 29 : 30, le note fanno disaccordo. Si vedrà in appresso (281) qual sia la causa dell'accordo e della dissonanza.

239. Metodo ottico di Lissajous. — Lissajous ha ideato un ingegnoso metodo ottico per conoscere se due date note accordino fra di loro o no. Per comprenderlo richiamiamo alla nostra mente un fatto a tutti ben noto, e da noi già accennato (214), cioè che se moviamo rapidamente un punto luminoso, non vediamo distintamente il punto che si muove, ma tutto un nastro luminoso, perchè l'impressione fatta nei varii punti della retina (809) dura circa un decimo di secondo. Lo stesso avviene se tenendo fermo il punto

luminoso, un fascio di raggi di luce si faccia cadere sopra uno specchio, che si muova, poichè il fascio riflesso va a partecipare del moto dello specchio stesso. Che se il fascio da questo riflesso vada a battere in un secondo specchio avente un moto diverso da quello del primo, il fascio di luce parteciperà anche di questo secondo moto, ed i due movimenti si comporranno insieme, cosicchè raccolta la luce sopra un diaframma vedremo una curva luminosa più o meno complicata ed irregolare, secondo che più o meno differenti sono i moti dei due specchi. Tutto ciò notato, si abbiano due diapason B, C (fig. 152), che diano le due note, delle quali vogliamo conoscere l'accordo od il disaccordo. Nel vertice di una branca di ciascuno di essi si ponga un piccolo specchio, e mentre uno dei due coristi è tenuto verticale, l'altro sia tenuto fisso orizzontalmente. A è una lucerna circondata da un tubo opaco, il quale avendo lateralmente un piccolo foro, fa escire per questo un sottil fascio di raggi luminosi. Le cose poi sono disposte in maniera, che il detto fascio batte prima nello specchio di B, quindi in quello di C, e poscia va al diaframma D: se i due diapason vibrano, vedremo in D una curva luminosa. Or bene, si è verificato, che quanto più semplice e simmetrica è questa curva, tanto più perfetto è l'accordo dei suoni emessi dai due coristi. Il chiarissimo prof. Villari ha perfezionato questo metodo. Difatti agendo nella maniera esposta, non si vedono che due dimensioni della curva luminosa, ossia la sua proiezione nel diaframma D. Ma il Villari, raccogliendo il raggio riflesso dai due specchi in un terzo specchio, che ruota velocemente intorno ad un asse verticale, fa vedere la detta curva in rilievo, ossia in tutte tre le sue dimensioni.

240. Valore degli intervalli. — Gli intervalli che passano tra il *do* e le successive note della gamma prendono i seguenti nomi:

L'intervallo tra *re* e *do* si chiama una *seconda* ... $\frac{9}{8}$

» *mi* e *do* » una *terza*.,... $\frac{5}{4}$

» *fa* e *do* » una *quarta*..... $\frac{4}{3}$

» *sol* e *do* » una *quinta*..... $\frac{3}{2}$

» *la* e *do* » una *sesta* ...... $\frac{5}{3}$

» *si* e *do* » una *settima* ... $\frac{15}{8}$

» *do* e *do* » un'*ottava* 2

Fra tutti questi intervalli i più semplici sono quelli di terza, di quinta e di ottava, che stanno fra di loro come i numeri $1:\frac{5}{4}:\frac{3}{2}:2$, che ridotti al medesimo denominatore passano ad essere $4:5:6:8$.

È per questo che le quattro note corrispondenti *do*, *mi*, *sol*, *do* udite o contemporaneamente o successivamente formano un accordo gratissimo, il quale si chiama *accordo perfetto maggiore*.

Consideriamo ora gli intervalli che passano fra le note successive della gamma. L'intervallo tra *re* e *do* è $\frac{9}{8}$, tra *mi* e *re* è $\frac{5}{4}:\frac{9}{8}=\frac{10}{9}$, e così si trovano gli altri, che notiamo qui appresso

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
$\frac{9}{8}$,	$\frac{10}{9}$,	$\frac{16}{15}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{10}{9}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{16}{15}$	
tono,	tono,	semitono,	tono,	tono,	tono,	semitono	

Si vede che di questi intervalli tre sono eguali a $\frac{9}{8}$, due a $\frac{10}{9}$ e due a $\frac{16}{15}$. Si confrontino fra di loro questi tre numeri frazionarii, riducendoli al medesimo denominatore, e si avrà

$$\frac{1215}{360},\ \frac{1200}{360},\ \frac{1152}{360}$$

Le quali frazioni divise per 3 passano ad essere

$$\frac{405}{360},\ \frac{400}{360},\ \frac{384}{360}$$

I due primi intervalli sono quasi eguali, essendo trascurabile la loro differenza $\frac{5}{360}=\frac{1}{72}$, e ciascuno di essi è stato chiamato *tono*: il più grande ossia $\frac{9}{8}$ è detto *tono maggiore*, e l'altro, ossia $\frac{10}{9}$, *tono minore*, il terzo intervallo poi, ossia $\frac{16}{15}$, perchè il più piccolo di tutti, si appella *semitono*. Risulta dal detto, che la gamma è formata da due toni seguiti da un semitono, cui tengono dietro tre toni e poi un semitono. Qualunque sia l'altezza del suono da cui vogliamo incominciare, se si vuole far sentire una gamma, bisogna che gli intervalli si seguano con quest'ordine.

241. Diesis e bemolle. — Se si ha fra due note un intervallo corrispondente ad un semitono, e si voglia questo ridurre ad essere un tono, non si ha a fare altro, che ingrandire la frazione $\frac{16}{15}$ in modo da farla diventare $\frac{10}{9}$; il che si ottiene col moltiplicar quella per un idoneo numero, che indicheremo con x; si dovrà pertanto fare $\frac{16}{15}x=\frac{10}{9}$, da cui risulta $x=\frac{25}{24}$. Adunque moltiplicando per questa frazione un intervallo, lo faremo crescere di mezzo tono.

Per conseguenza se l'intervallo fra due note è un semitono, diverrà un tono se si moltiplica per $\frac{25}{24}$ il numero delle vibrazioni della nota più acuta, il che si dice rendere *diesis* questa nota; ma se l'intervallo fra le due note è di un tono, si ridurrà a semitono, rendendo diesis la nota più bassa. Se moltiplicando la nota più acuta per $\frac{25}{24}$ cresciamo l'intervallo di un semitono, ne verrà, che dividendola per la detta frazione, ossia moltiplicandola per $\frac{24}{25}$, faremo calare l'intervallo di un semitono. Quando adunque l'intervallo fra due note è un tono, per farlo divenire un semitono si moltiplica la nota più acuta per $\frac{24}{25}$, il che dicesi rendere quella nota *bemolle*. Al contrario quando l'intervallo è un semitono, si fa diventare tono, rendendo bemolle la nota più grave. Conchiudiamo adunque, che per convertire un intervallo da semitono a tono si hanno due modi, cioè o far diesis la nota più acuta, o far bemolle la piu grave; e viceversa per convertire un tono in semitono rendere dobbiamo diesis la nota più bassa o bemolle la più acuta. Il diesis si suole rappresentare con il simbolo ♯, ed il bemolle col segno *b*.

242. Scala fondamentale. — Potendosi prendere per *do* di una gamma un suono qualunque, si avrebbe un numero indeterminato di gamme differentissime, e quindi una grande incertezza nella musica; a togliere la quale fu deciso di scegliere per *do* fondamentale quello, che corrisponde al suono più grave reso dal violoncello, cioè dalla corda più grossa di questo istrumento, quando vibra intera. Le note della gamma che parte da questo *do* fondamentale, si distinguono col numero 1 posto alla loro sinistra un poco in basso nel modo seguente:

$$do_1,\ re_1,\ mi_1,\ fa_1,\ sol_1,\ la_1,\ si_1.$$

La scala, che incomincia con un secondo *do* di un numero doppio di vibrazioni del precedente, si esprime col numero 2 così:

$$do_2,\ re_2,\ mi_2,\ fa_2,\ sol_2,\ la_2,\ si_2,$$

e così di seguito a misura, che le scale divengono più alte, gli indici crescono di una unità per volta. Quando poi si tratti di gamme più basse della fondamentale, gli indici 1, 2..... si prendono col segno negativo, ad esempio do_{-1}, re_{-1}, mi_{-1},..... sono le note della gamma immediatamente più bassa della fondamentale.

Ma con ciò avremo ben fissata la scala musicale? No certo; imperocchè la corda più grossa di un violoncello, potendo essere più o meno tesa, più o meno grossa, può rendere un suono di diversa altezza. Era adunque necessario ben fissare un suono, che sia relativo ad un determinato numero di vibrazioni. A tal fine si è stabilito il corista o diapason, il quale deve produrre il la_3, che è il suono reso dalla terza corda del violino, quando oscilla libera. Per togliere poi ogni incertezza, e per rendere uniforme in altezza il suono

delle orchestre, il governo francese adottò per corista normale quello che eseguisce 870 vibrazioni al secondo. Poco diversificano da questo i coristi, che sono in uso presso le altre nazioni, come risulta dal quadro seguente:

Teatro dell'opera	di Parigi	vibrazioni	870	al secondo
» »	di Berlino.	»	897	»
» »	di S. Carlo di Napoli	»	890	»
» »	della Scala di Milano	»	903	»
» »	italiano di Londra	»	904	»

Sapendosi il numero delle vibrazioni corrispondenti alla nota la_3 si trova facilmente il numero delle vibrazioni relativo a ciascuna nota della medesima scala. Difatti sappiamo (237), che se il numero delle vibrazioni del *do* s'indichi con 1, quello del *la* è $\frac{5}{3}$. Chiamando adunque con x il numero delle vibrazioni del *do*, si potrà impiantare la proporzione:

$$1 : \frac{5}{3} = x : 870,$$

da cui si ricava $x = 522$. Moltiplicando poi questo numero per le frazioni $\frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}$..... si ottengono i numeri delle vibrazioni delle altre note, che sono come appresso:

do_3,	re_3,	mi_3,	fa_3,	sol_3,	la_3,	si_3,	do_4
522,	587,25,	652,5,	696,	783,	870,	878,75	1044.

Conosciuto il numero delle vibrazioni corrispondenti alle note di questa scala, con facile calcolo si determina quello relativo alle note d'un'altra gamma qualunque o più bassa o più acuta. Si determini ad esempio il numero delle vibrazioni di do_1. Indicato con x questo numero, si rifletta, che do_2 dovendo fare un numero di vibrazioni doppio di quello di do_1, ne farà $x \times 2$, e che dovendo do_3 farne un numero doppio di do_2, ne effettuerà $2^2 x$. Ma abbiamo veduto che le vibrazioni di do_3 sono 522; dunque si avrà l'equazione

$$2^2 x = 522, \quad x = \frac{522}{2^2} = 130,5.$$

Con simile ragionamento si prova, che per determinare il numero delle vibrazioni necessarie per avere una nota di egual nome di un'altra data, ma più bassa di questa, basta dividere il numero delle vibrazioni della data per 2 elevato ad una potenza eguale al numero delle gamme, di cui distano le due note. Che se la nota di cui si cerca il numero delle vibrazioni sia più acuta della data, invece di dividere per 2 elevato alla detta potenza, bisogna moltiplicare per questa quantità il numero delle vibrazioni relativo alla data nota.

243. Suono semplice e composto. — Il suono di alcuni istrumenti, ad esempio del corista, è *semplice*, cioè costituito da una sola nota corrispondente ad un certo numero di vibrazioni per

secondo; ma per lo più il suono d'un istrumento è *composto*, cioè oltre al suono più grave e preponderante, che emette l'istrumento, e che dicesi *fondamentale*, esso istrumento fa intendere altri suoni più acuti corrispondenti ad un numero di vibrazioni 2, 3, 4..... volte più grande di quello del suono fondamentale. A questi suoni più acuti dassi il nome di *armoniche*, perchè, come si vedrà in seguito (261), rendono armonico e grato il suono composto. La causa poi delle armoniche è il dividersi, che fa il corpo sonoro in tante parti, che oscillano da sè, e che sono separate le une dalle altre da linee nodali (214).

244. Uso della sirena doppia di Helmholtz. — Allorquando fra due note vi è un intervallo espresso da una frazione i cui termini siano numeri bassi, abbiamo detto, che quelle note accordano (238), mentre in caso contrario si ha dissonanza. Possiamo ciò verificare colla sirena doppia di Helmholtz (221). Invero si facciano simultaneamente cantare due sistemi di fori, cioè quello di 16 e quello di 8: il rapporto tra le vibrazioni delle due note, ossia il loro intervallo sarà $\frac{16}{8}=2$. Tale intervallo è l'ottava ed avrassi un accordo. Si facciano insieme cantare i sistemi di 15 e 12 fori; l'intervallo sarà $\frac{15}{12}=\frac{5}{4}$, che è l'accordo di terza. Che se si faranno contemporaneamente sonare le serie di 8, 10, 12 fori del disco inferiore e quella di 16 fori del disco superiore; i numeri delle vibrazioni staranno fra loro come i numeri 8 : 10 : 12 : 16, ossia come 4 : 5 : 6 : 8, e perciò si avrà l'accordo perfetto maggiore (240). Allorchè colla sirena si è ottenuto l'accordo fra due note, se si fa girare il tamburo superiore, cambia, come vedemmo (221) l'intervallo; il rapporto dei numeri delle vibrazioni addiviene complicato, e l'orecchio tosto sente una dissonanza.

CAPO V.

VIBRAZIONI DELLE CORDE

245. Sonometro. — Dopo di aver parlato in genere delle vibrazioni, da cui nasce il suono, è bene studiare le dette vibrazioni relativamente ai corpi sonori, che le producono. Incominciamo dalle vibrazioni delle corde. Per esaminar queste si fa uso d'un

istrumento, che prende il nome di *sonometro*, ed è composto di una cassa cava e chiusa di legno, sopra la quale sono tese più corde. Per ben fissare queste, si fa terminare ciascuna in un estremo ad anello, il quale è infilzato da un gargano metallico confitto nella cassa. L'altro estremo poi è unito ad una vite metallica, che può farsi girare a piacere, producendo così nella corda una maggiore o minore tensione. Si può invece far passare la corda sopra una carrucola fissa, ed attaccare al suo estremo un peso noto, che produce insieme e misura la tensione della corda. La parte vibrante di questa è limitata da due cavalletti fissi, la cui vicendevole distanza è ordinariamente un metro, ed è misurata da un regolo diviso in centimetri e posto sopra alla cassa. Un terzo cavalletto mobile può essere posto sotto le corde, e serve a cambiare ad arbitrio la lunghezza della parte vibrante, la quale lunghezza si misura sul regolo suddetto. Se si allontani la corda dalla sua naturale posizione, spingendola col dito, stropicciandola con un archetto, o percuotendola con un martello, essa vibrerà producendo un suono.

246. Leggi delle vibrazioni delle corde. — Col sonometro si sono studiate le leggi delle vibrazioni delle corde, le quali ora passiamo ad esporre.

1ª Legge. « Il numero delle vibrazioni eseguite in un determinato tempo da una corda è nella ragione inversa della sua lunghezza. Per dimostrare questa legge si faccia vibrare una corda in tutta la sua lunghezza: essa darà un suono che chiameremo *do*; se vogliamo che la corda dia il *re* di questa gamma, dovremo per mezzo del cavalletto mobile accorciare la lunghezza della parte vibrante. Facendo muovere un poco alla volta il detto cavalletto, quando avrà questo ridotta la lunghezza della corda ad $\frac{8}{9}$ della primitiva, ascolteremo il *re*: seguitando a muovere il cavalletto, allorchè la lunghezza della parte vibrante sarà ridotta a $\frac{4}{5}$, la corda darà il *mi*. Indicando con 1 la lunghezza della corda intera, che rende il *do*, e parimente con 1 il numero delle vibrazioni relativo alla medesima nota *do*, la lunghezza della parte oscillante, che produce le altre note, ed il numero relativo delle vibrazioni saranno come appresso:

$$\text{Lunghezza della corda } 1,\ \frac{8}{9},\ \frac{4}{5},\ \frac{3}{4},\ \frac{2}{3},\ \frac{3}{5},\ \frac{8}{15},\ \frac{1}{2}$$

Note *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, do_2

$$\text{Numero delle vibrazioni } 1,\ \frac{9}{8},\ \frac{5}{4},\ \frac{4}{3},\ \frac{3}{2},\ \frac{5}{3},\ \frac{15}{8},\ 2.$$

Questa tavola fa conoscere manifestamente, essere il numero delle vibrazioni nella ragione inversa della lunghezza della parte oscillante della corda.

2ª Legge. — Il numero delle vibrazioni è nella ragione inversa del raggio della corda. — Si pongano nel sonometro due corde della medesima sostanza, una delle quali abbia il raggio doppio di quello

dell'altra. Tese ambedue egualmente, e lasciatele libere in tutta la loro lunghezza, si facciano oscillare: si ascolterà che il suono della più fina è precisamente l'ottava acuta di quello dell'altra, il che è quanto dire, che mentre i raggi delle due corde stanno fra loro come 2 : 1, i numeri delle vibrazioni in un medesimo tempo da esse eseguite stanno come 1 : 2, cioè sono nella ragione inversa dei raggi.

3ª Legge. — Il numero delle vibrazioni di una corda è proporzionale alla radice quadrata del peso che la tende. — In vero fatta accollare una corda del sonometro ad una carrucola fissa, si attacchi ad essa un peso di un chilogramma, che la tenda. Fatta vibrare essa corda, dia ad esempio la nota do_3. Se quindi alla medesima si appendano successivamente pesi di 4, 9 chilogrammi, le note prodotte saranno do_4, sol_4. Ora i numeri delle vibrazioni delle note do_3, do_4, sol_4 sono 122, 122×2, 122×3, i quali, come è manifesto, stanno fra loro come 1 : 2 : 3, che sono le radici quadrate di 1, 4, 9. Dunque è vera l'esposta legge.

4ª Legge. — I numeri delle vibrazioni di due corde sono nella ragione inversa delle radici quadrate delle loro densità. — Si prendano due corde di egual raggio, ma di diversa sostanza, e si tendano nel sonometro con pesi eguali. Una di esse sia di una materia, il cui peso specifico (100) sia p, e l'altra di una sostanza di peso specifico p', e si chiamino n, n' i numeri delle vibrazioni fatte in egual tempo dalle due corde. Se è vera l'esposta legge, si dovrebbe avere $n : n' = \sqrt{p'} : \sqrt{p}$, da cui si deduce $n = n'\sqrt{\frac{p'}{p}}$. Se $\sqrt{\frac{p'}{p}}$ è una frazione vera, ne conseguirebbe, essere $n < n'$, e quindi il suono della prima corda riescirebbe più grave di quello della seconda. In forza della prima legge per fare che le due corde suonino all'unisono, si dovrà accorciare la prima in modo che il numero delle vibrazioni da essa eseguite sia eguale ad n', cioè il numero delle sue vibrazioni dovrà addivenire $n\sqrt{\frac{p}{p'}} = n'$; il che si otterrà col dividere la lunghezza della prima corda per $\sqrt{\frac{p}{p'}}$, ossia la detta corda dovrà ridursi ad una parte dell'intera eguale a $\frac{1}{\sqrt{\frac{p'}{p}}}$. Posto nel sonometro il cavalletto mobile in guisa che la lunghezza della parte oscillante della corda di materia più pesante addivenga eguale ad $\frac{1}{\sqrt{\frac{p}{p'}}}$, si verifica che le due corde suonano all'unisono, e ciò addimostra, che l'esposta quarta legge è vera.

Il calcolo ha potuto riunire tutte queste quattro leggi in una formola, che dà il numero delle vibrazioni eseguite in un secondo da una corda. Sia n questo numero di oscillazioni, l la lunghezza, r il raggio, d il peso specifico della corda, P il peso che la tende, g

l'accelerazione dovuta alla gravità, e che corrisponde a metri 9, 8088 (52), π il rapporto tra il diametro e la periferia, il qual rapporto è eguale a 3,141592; la detta formola è $n = \frac{1}{r.b}\sqrt{\frac{P.g}{d.\pi}}$.

247. Armoniche delle corde. — Vibrando una corda, oltre al suono fondamentale nato dalla vibrazione della corda intera, si sentono molte armoniche (243) nate da che la corda si divide in parti aliquote, che oscillano indipendentemente dal resto della corda, producendo un sistema di ondulazioni stazionarie (80) con ventri e nodi. Questa facoltà, che hanno le corde di dividersi in parti oscillanti da sè, si può sperimentare nei modi seguenti. Al terzo di una corda tesa fra due cavalletti M, P (fig. 153) si ponga un terzo cavalletto N, e si facciano simultaneamente vibrare tanto il terzo NP della corda, quanto i due terzi MN, ovvero ciascuna di queste due parti si faccia vibrare successivamente. Essendo NP in lunghezza la metà di MN, il suono dato da NP sarà l'ottava acuta del suono fondamentale reso da MN. Il confronto dei due suoni ci farà conoscere, che essa ottava acuta è contenuta ancora nel suono dato da MN. Conviene adunque dire, che mentre MN oscillando intera dà il suono fondamentale, si divide in due parti ciascuna eguale ad NP, le quali vibrando da sè danno il suono unisono a quello prodotto da NP, che costituisce la prima armonica. Se il cavalletto MN venga posto ad un quarto della lunghezza PM, e la parte MN sia divisa in tre parti eguali, ponendo noi in ciascun punto di divisione *a*, *b* a cavalcioni della corda delle cartoline colorate, ed al mezzo di ciascuna parte *c*, *d*, *e* delle cartoline bianche, vedremo che, sfregando leggermente con un archetto il punto medio di NP, tutte le cartoline bianche cadono, ma rimangono ferme le colorate. Ciò prova, che la parte MN si è suddivisa in tre, ciascuna eguale ad NP, e vibranti all'unisono con questa. I punti *a*, *b* sono rimasti fermi e sono i nodi, ed i punti medii *c*, *d*, *e* corrispondono alle parti più agitate, ossia alla metà dei ventri. Reciprocamente se si fa vibrare MN, ed un pezzettino di carta si ponga a cavalcioni alla metà di NP, questo viene subito a cadere, e la detta parte di corda fa udire un suono costituito da un numero di vibrazioni, che è il triplo di quello dato da MN, e che è anche in questo compreso, ed è la seconda armonica. Da tutto il detto risulta, che il suono di una corda è composto ed è costituito dal complesso del movimento vibratorio dell'intera corda, e dei movimenti parziali corrispondenti a ciascuna delle armoniche. Il primo ed ultimo degli accennati esperimenti dimostrano l'esistenza delle armoniche, mentre il secondo fa conoscere la facilità, con cui la corda si divide in parti vibranti da sè.

248. Applicazioni delle leggi delle vibrazioni delle corde. — La prima legge da noi esposta relativamente ai suoni emessi dalle corde, ci porge un facilissimo mezzo per misurare il numero delle vibrazioni corrispondente ad un dato suono. A tal uopo bisogna avere un corista, il cui numero di vibrazioni sia ben noto; tale, ad esempio, che dia il la_3 normale di 870 ondulazioni (237), ed è inoltre necessario un sonometro. Il suono che si vuole stu-

diare può essere o più basso o più acuto di la_3. Nel primo caso si tende la corda del sonometro in modo che suoni all'unisono colla nota da misurarsi, e supponiamo che p sia la lunghezza di essa corda; diremo che la lunghezza p fa x vibrazioni al secondo. Dopo ciò col cavalletto mobile si abbrevii la parte oscillante della corda in modo che dia il la_3 del corista: questa parte, la cui lunghezza indichiamo con q, farà 870 oscillazioni al secondo, e per la prima legge si avrà

$$870 : x = p : q$$

onde

$$x = \frac{870 . q}{p}.$$

Nel secondo caso, quando cioè la nota da misurarsi è più acuta di la_3, bisogna accordare con la_3 la corda intera del sonometro, e poi limitare col cavalletto una parte di essa in maniera che suoni all'unisono colla nota, le cui vibrazioni si vogliono contare; si misura la lunghezza della parte oscillante, e poi si procede come nel precedente caso.

Le leggi esposte hanno ancora applicazione negli istrumenti di musica detti a *corda*. Il piano e l'arpa hanno tante corde quante sono le note, che si vogliono produrre. Le corde, che debbono rendere le note gravi sono grosse, lunghe e meno tese, e quelle, che rendono suoni acuti, sono sottili, corte e più tese. Nel contrabbasso, viola, violino ecc. sono poche le corde, ma possono rendere moltissime note, poichè il sonatore coi suoi diti limita a piacere la lunghezza della parte vibrante.

CAPO VI.

TUBI SONORI

249. Tubi sonori. — I tubi sonori sono casse di qualunque sostanza prismatiche o cilindriche, nel cui interno è contenuta una massa d'aria posta in vibrazione col soffiare entro al tubo stesso per un'apposita apertura. Tali tubi detti ancora *istrumenti da fiato* possono essere di quattro specie, cioè a *bocca*, a *pivetta libera*, a *pivetta battente*, a *pivetta membranacea*. Prima parleremo dei tubi a bocca, dando in generale la teoria dei tubi sonori, poi faremo parola degli altri.

250. Tubi a bocca. — I tubi a bocca sono quelli comunemente usati negli organi. Sia A (fig. 154) una cassa o tubo di qualunque materia, il quale verso il basso, ossia in *m*, abbia una fenditura orizzontale detta *bocca* formata nella parte superiore ad ugnatura appellata *labbro*, come meglio vedesi nel suo profilo B in *a*. Il labbro è disposto in modo, che una corrente di aria soffiata con forza da un mantice per il tubo T, traversa prima un canale detto *luce*, poi viene ad infrangersi ed a dividersi contro il labbro *a*. Ne risulta un'escita dell'aria dalla bocca ad intermittenza; la quale intermittenza genera vibrazioni sonore in tutta la massa dell'aria contenuta nel tubo: onde il suono non devesi ripetere dalle vibrazioni della sostanza solida, di cui il tubo è formato. Ecco la ragione di questo fenomeno. La falda d'aria, che va a battere contro il labbro *a* ove si divide, incontra un ostacolo al suo cammino, e quindi si comprime. Appena compressa, per la sua elasticità tende di nuovo ad espandersi, e per conseguenza fa pressione sull'aria, che tende successivamente ad escire dalla luce, onde cessa l'efflusso aereo. Subito però che ha terminato quell'aria ad espandersi, un'altra quantità esce dalla luce, subisce una pressione battendo contro il labbro, reagisce sull'aria che la segue, e ne impedisce l'escita, e così in appresso. Questo fenomeno si verifica ancora nel flauto, e nella chiave adoperata per fischiare. L'aria, che penetra nel flauto o nella chiave, si comprime, e poi si espande di nuovo, e coll'espandersi impedisce l'escita della corrente aerea dalle labbra del sonatore, la quale corrente addiviene per tal modo intermittente.

Che poi vibri l'aria del tubo, si rende manifesto con questo esperimento. Si abbia un tubo a bocca di forma parallelepipeda, ed avente una faccia di cristallo, per mezzo di cui sia visibile l'interno. Facciasi suonare esso tubo, e si faccia discendere lentamente nel suo interno una sottilissima membrana tesa in una cornice di cartone e coperta di fina sabbia. Si osserva, che la detta sabbia, si agita e saltella in quasi tutti i punti del tubo, in cui si porta la membrana, meno in alcuni strati orizzontali collocati ad eguali distanze fra loro. Ove la sabbia non si muove ha luogo un nodo, e si ha un ventre dove il movimento è massimo. Ci viene ciò confermato da che introdotta la membrana nel tubo, questa modifica il tono, quando trovasi in punti, in cui la sabbia si agita, ma non già quando trovasi in quelli in cui la polvere non si muove. La distanza che passa tra un ventre e l'altro costituisce la lunghezza dell'onda sonora. Qui si noti che nel ventre non ha luogo cambiamento di pressione nell'aria interna, la qual pressione rimane sempre eguale a quella dell'aria esterna, ma in cambio l'aria del ventre trovasi in grande movimento. Viceversa nel nodo l'aria non si muove, ma ivi cambia di continuo la pressione. Proviene da ciò, che fatto un foro nel tubo precisamente nel punto ove cade un ventre, l'altezza del suono non varia, poichè essendo ivi la pressione dell'aria interna eguale a quella dell'atmosfera, lo stato aereo interno non viene affatto a mutarsi per l'apertura del foro. Non avviene lo stesso se il foro si pratica a livello di un nodo: le pressioni dell'aria interna ed esterna sono in quel punto disuguali, e col foro si riducono ad essere eguali, e per ciò ivi si produce un

ventre; per il che cambiandosi le posizioni ed il numero dei ventri, cambiasi la lunghezza dell'onda, e conseguentemente il numero delle vibrazioni e l'altezza del suono.

251. Leggi delle vibrazioni dei tubi aperti. — Dei tubi sonori altri sono aperti nella estremità superiore, altri sono chiusi. Dovendo esporre le leggi relative a questi tubi, e che sono state scoperte da Daniele Bernuilli, cominceremo da quelle, che riguardano i tubi aperti.

1ª Legge. — Il numero delle vibrazioni dei suoni emessi dai tubi è nella ragione inversa della lunghezza dei medesimi. Per dimostrare ciò basta di mettere su di un *banco ad aria* da organo due tubi aperti, uno dei quali abbia una lunghezza doppia di quella dell'altro. Fatti suonare ambedue, si sente che il più corto rende l'ottava acuta del suono dell'altro; il che chiaramente dimostra, che l'aria nel primo tubo effettua un numero di vibrazioni, che è il doppio di quelle nell'altro effettuate. Perchè però ciò rigorosamente si verifichi, si richiede che il diametro dei tubi sia piccolo relativamente all'altezza di questi. Sarà dopo ciò cosa ben facile il costruire una serie di tubi, che producano una gamma. Invero essendo i numeri delle vibrazioni relativi alle note di una gamma proporzionali ai numeri (237)

$$1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2$$

per la legge ora esposta le lunghezze dei tubi che danno un'ottava dovranno stare tra loro come i numeri

$$1 : \frac{8}{9} : \frac{4}{5} : \frac{2}{3} : \frac{3}{5} : \frac{8}{15} : \frac{1}{2}.$$

2ª Legge. — In un tubo aperto soffiando una corrente d'aria sempre crescente, i suoni prodotti stanno fra loro come la serie dei numeri naturali 1, 2, 3, 4... Questa seconda legge si suole dimostrare col far suonare un tubo di vetro lungo un metro. Soffiando in esso con poca forza avremo un suono grave, ed in questo caso si formerà un solo nodo nel mezzo del tubo ed un ventre in ciascuna estremità; per il che la lunghezza dell'onda sonora sarà eguale alla lunghezza del tubo stesso (250). Potremo quindi conoscere qual sia il numero delle vibrazioni relative a questo suono. Sapendosi difatti (71) che chiamando con l la lunghezza di un'onda, con V la velocità con cui si propaga il moto ondulatorio, e con n il numero delle vibrazioni compiute in un secondo, si ha $l = \frac{V}{n}$; da questa si deduce $n = \frac{V}{l}$; ond'è che supposta la velocità V eguale a metri 340 (230), verremo ad avere nel presente caso

$$n = \frac{340}{1} = 340.$$

Soffiando più forte si avrà subito l'ottava acuta data da vibrazioni 340×2, e crescendo sempre più l'energia del soffio, si udiranno le note corrispondenti ai numeri di vibrazioni 340×3, 340×4... È certo, che il cambiarsi del tono dipende dal cambiarsi del numero e disposizione dei nodi e ventri: vediamo adunque qual sia questa varia disposizione. Osservando, che in un tubo aperto, qualunque sia il tono che si produce, si ha sempre un ventre ai due estremi; diremo che, quando si soffia piano, si ha il suono più grave, perchè si ha un solo nodo nel mezzo del tubo, e due ventri agli estremi, come già si è accennato, e come è indicato in (1) (fig. 155). Crescendo il soffio, si ha l'ottava acuta, il cui numero di ondulazioni è doppio, e per ciò per la formola $l = \frac{V}{n}$ la lunghezza dell'onda sarà ridotta alla metà di prima, cioè sarà eguale alla metà della lunghezza del tubo; ond'è, che siccome agli estremi di questo vi deve essere sempre un ventre, dovremo in questo caso avere nel tubo tre ventri e due nodi, come indica la figura in (2). Crescendo il soffio di più, il suono emesso corrisponde ad un numero triplo di vibrazioni, e per ciò la lunghezza dell'onda sarà ridotta ad un terzo della primiera, tre onde occuperanno la lunghezza del tubo, e la disposizione dei nodi e ventri sarà quella indicata in (3). Che se crescendo l'energia del soffio, siasi ottenuto il suono corrispondente ad un numero quadruplo di vibrazioni, nella lunghezza del tubo avranno luogo quattro onde, ed i nodi e ventri saranno disposti come vedesi in (4). Esaminando la figura, scorgesi manifestamente, che quando il numero delle vibrazioni è doppio, è come se si fossero posti l'uno sopra l'altro due tubi lunghi la metà del primo, in ciascuno dei quali la disposizione dei ventri e del nodo è come nel primitivo. Egualmente, si vede, che se il suono si è reso corrispondente al triplo di vibrazioni, è come se tre tubi, ciascuno eguale al terzo del primiero ed avente una eguale disposizione di ventri e nodi, fossero posti l'uno sopra all'altro, e così di seguito.

252. Apparato di Kœnig per la determinazione dei nodi e ventri. – Kœnig ha ideato un apparato ingegnoso per determinare la posizione dei ventri e nodi in un tubo sonoro, il quale apparecchio è fondato su ciò, che si è detto poco fa (250), cioè che l'aria nel nodo ha una pressione varia alternativamente maggiore e minore di quella dell'atmosfera, mentre al contrario nel ventre le pressioni dell'aria interna ed esterna sono sempre eguali. Nel punto medio M di un tubo sonoro AB (fig. 156) si pratica un'apertura circolare, che poi si chiude per mezzo di una membrana tesa di caucciù. Questa si copre dalla parte esterna con una capsula metallica cava, a cui la membrana fa da fondo, e che ha due aperture, per una delle quali comunica con un tubo b, per il quale il gas luce, che per P entra nella cassetta LS, penetra nella capsula suddetta mentre l'altra apertura è munita di un becco a gas. Due altri fori circolari forniti di simile apparecchio sono praticati nei punti N ed O collocati nelle quarte parti del tubo sonoro. Si comprende, che aumentandosi la pressione dell'aria interna su di una delle tre membrane, escirà con più impeto il gas dal relativo becco, e quindi si aumenterà la fiamma; ma se al con-

trario diminuisca la pressione interna, il gas escirà dal becco con minore impeto, e la fiamma verrà a diminuire. Vicino al tubo e parallelamente alla sua lunghezza uno specchio di forma parallelepipeda gira velocemente intorno al proprio asse. Accese le tre fiaccole, e fatto in modo, che queste siano assai piccole, si faccia rendere dal tubo il suono più grave: la fiamma di mezzo tosto si estingue, ma non le altre, le cui immagini nello specchio compariranno come due nastri. Ciò prova che nel mezzo ha luogo un nodo, poichè ivi l'aria cambia di pressione, e quando questa è addivenuta minima, il gas non esce dal becco, e la fiamma si estingue. Siccome nei ventri la pressione dell'aria non cambia, ivi le fiamme non si sono estinte. Ma si dia maggiore ampiezza alle fiamme, allora quella corrispondente ad un nodo non si estingue più, e solo si accorcia allorchè scema la pressione interna, e si allunga quando questa aumenta. Ebbene, allorquando il tubo emette il suono grave, le due fiaccole estreme rimangono invariate, e la loro immagine è un nastro coi lembi rettilinei paralleli, ma la fiamma di mezzo, perchè corrisponde ad un nodo, alternativamente subisce gli accorciamenti ed allungamenti, e la sua immagine comparisce dentata, indicando il numero dei denti quello delle vibrazioni. Che se soffiando più forte, si faccia rendere dal tubo l'ottava acuta, l'immagine della fiamma di mezzo prenderà la forma di nastro a lembi rettilinei, e le immagini delle altre due fiamme appariranno dentate; il che mostra, nel punto medio essersi formato un ventre, e due nodi negli altri due punti. Si vede poi che il numero dei denti è doppio di prima, perchè doppio è il numero delle vibrazioni corrispondenti all'ottava acuta. In tal modo si verifica, che la disposizione dei ventri e nodi è come l'abbiamo descritta.

253. Leggi relative ai tubi chiusi. — Passiamo a dare le leggi riguardanti i tubi chiusi.

1ª Legge. — Un tubo chiuso emette un medesimo suono dato da un tubo aperto di lunghezza doppia. — Per dimostrare tal legge si fa uso d'un tubo sonoro aperto, la cui metà è attraversata da un tramezzo in parte pieno ed in parte forato, cosicchè tirandolo avanti ed in dietro, si può a piacere cambiare l'apparato da tubo aperto a tubo chiuso avente una lunghezza eguale alla metà di quella del primo. Or bene, nel fare questo cambiamento non si viene in alcun conto a cambiare il tono. Quindi è che se si fanno suonare due tubi di egual lunghezza, ma uno aperto e l'altro chiuso, quest'ultimo dà l'ottava bassa del primo. Se i due tubi hanno una lunghezza il primo doppia di quella dell'altro, essi saranno all'unisono.

2ª Legge. — Nell'estremo chiuso si forma sempre un nodo, ed un ventre nell'estremo aperto. — Bene si vede verificarsi questa legge nel tubo, di cui poco fa si è parlato. Quando s'introduce in esso la parte piena del tramezzo, non si cambia tono; dunque non si cambia la disposizione dei ventri e dei nodi; ma abbiamo veduto (251), che essendo il tubo aperto, e rendendo questo il suono più grave, nel punto in cui è posto il tramezzo, ossia nel punto medio, vi è un nodo, e nell'estremo aperto inferiore un ventre; dunque questo nodo e questo ventre vi debbono essere ancora quando il

tubo è stato ridotto a tubo chiuso, cioè vi è un nodo all'estremo chiuso, ed un ventre nell'imboccatura.

3ª Legge. — Quando nel tubo chiuso vi è un solo nodo, la lunghezza dell'onda è doppia di quella del tubo. Se la distanza fra due ventri è eguale alla lunghezza di un'onda (250), la distanza fra un ventre ed un nodo eguaglierà la lunghezza di una semionda. Ma nel nostro caso il ventre sta nell'imboccatura, il nodo nell'altro estremo del tubo; dunque la lunghezza di questo è eguale a mezz'onda, ed un'onda eguaglia il doppio della lunghezza del tubo.

4ª Legge. — Soffiando con forza sempre maggiore in un tubo chiuso, i suoni prodotti sono crescenti come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7... La legge enunciata si dimostra, come la consimile relativa ai tubi aperti (251), usando però un tubo chiuso lungo un mezzo metro. Il tono fondamentale sarà come allora corrispondente a 340 vibrazioni, e soffiando con energia sempre maggiore, le note emesse corrisponderanno a vibrazioni 340×3, 340×5... Esaminiamo la disposizione dei nodi e dei ventri (fig. 157). Dando il tubo il suono più grave, avrà all'estremo chiuso un nodo, all'imboccatura un ventre (*a*). Crescendo il soffio, si avrà il suono corrispondente al triplo di vibrazioni, e formerassi un ventre al terzo superiore del tubo ed un nodo al terzo inferiore (*b*), e si avrà come se una canna chiusa fosse posta sopra ad un'altra aperta. Essendo la canna chiusa di altezza eguale ad un terzo dell'intero tubo, farà un numero triplo di vibrazioni, e con essa vibrerà all'unisono la canna aperta, perchè ha una doppia altezza. La (*c*) fa comprendere la disposizione dei ventri e nodi, che ha luogo quando si emette la successiva nota di un numero quintuplo di vibrazioni, ed il tubo sarà come composto di una canna chiusa e due aperte. In (*d*) si vede la disposizione relativa alla successiva nota, e si deve considerare la canna come formata da un tubo chiuso e tre aperti. Si comprende come procederà la legge per le note ancora più acute.

254. Tubi a linguetta. — Spesso negli strumenti a fiato si adoprano delle laminette elastiche metalliche, che l'aria solleva, e che ricadendo in virtù della loro elasticità, permettono ed impediscono alternativamente, e rapidissimamente il passaggio dell'aria, onde nascono le vibrazioni necessarie alla produzione del suono. Talora la linguetta metallica può liberamente oscillare da un lato e dall'altro dell'apertura, a cui è applicata, e che dicesi *canaletto*, ed in tal caso si ha la *pivetta libera*: tali sono le linguette dell'armonium. Altre volte invece la linguetta è più larga del canaletto, urta contro i lembi di questo, e non è libera di oscillare se non da un lato. Allora si ha la *pivetta battente*, e tale è quella del clarino. La lamina, a cui è annessa la pivetta, è fissata in una specie di cassa cava *s* (fig. 158), la quale s'introduce nel tubo prismatico I, entro cui si soffia l'aria. La detta cassa *s* porta una specie di coperchio *t*, il quale va a chiudere il tubo I. Da questo coperchio, che è forato, sorge il *tubo di rinforzo* R che per lo più ha la forma di un tronco di cono o di tromba: così sono formati i *tromboncini* dell'organo. Quanto è più lunga la parte oscillante della linguetta, tanto è più basso il suono. Per ottenere pertanto suoni più acuti o più gravi bisogna abbassare od innalzare la verga *r*, che va a

limitare la parte oscillante della linguetta. Il tubo di rinforzo R non solo aumenta l'intensità del suono, ma ne può abbassare secondo la sua lunghezza il tono anche di un'ottava. Le pivette battenti danno un suono stridulo, le libere un suono dolce.

255. Tubi a pivetta membranacea. — Le linguette membranacee sono assai più flessibili delle lamine metalliche, e si pongono assai facilmente in vibrazione. Fra le sostanze a ciò più adatte deve menzionarsi la gomma elastica, la quale facilmente si trova in commercio ridotta in lamine di eguale ertezza. Il modo di vibrare dei nastri membranacei è molto simile a quello delle corde. Nel sonometro (245) invece di una corda si tenga teso un nastro di gomma elastica di uniforme larghezza. Allontanando colla mano il nastro dalla posizione di equilibrio, e lasciandolo poi libero, vibra e rende un suono, che chiameremo *do*. Col cavalletto mobile si riduce la parte oscillante ad $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$..... $\frac{1}{2}$, e si udiranno le note *re*, *mi*, *fa*..... do_2, come si aveva nelle corde (246). Se si accresce la tensione, il suono prodotto diviene più acuto; ma qui l'effetto dell'aumento di tensione è doppio di quello che si ottiene nelle corde, perchè il nastro elastico col tendersi si affina di molto, e sappiamo che l'aumento di tensione e la diminuzione di diametro sono due cause, che elevano il tono.

I nastri membranacei, i quali *pizzicati* non vibrano che per poco tempo, producono al contrario vibrazioni energiche e persistenti, quando venga soffiata aria contro i loro lembi. Ecco come si possono disporre le pivette membranacee. La cassa semicilindrica cava M (fig. 159), entro cui si soffia l'aria per il tubo P, è aperta nella parte *d*, ed ivi è tirata una membrana di gomma elastica tenuta fissa agli estremi *l*, *p*, rimanendo liberi gli altri due lati di essa. Per limitare la parte vibrante sopra alla detta membrana si pone una tavola tagliata come vedesi in figura. Soffiando l'aria, la membrana tesa si pone a vibrare energicamente, mostrasi rigonfiata in mezzo, e produce un suono intenso. Il corno, la tromba, il trombone sono tubi sonori a pivetta membranacea: il bocchino a forma d'imbuto fa l'officio della cassa M, le labbra applicate ad esso fanno le veci della membrana C, e vibrano con maggiore o minore rapidità, secondo che sono più o meno tese, più o meno fra loro vicine.

256. Applicazioni. — Dalle cose fin qui dette si deduce come in molti istrumenti con un solo tubo si possano produrre molte note. Oltrechè soffiando in un tubo con varia energia si possono emettere suoni di varia altezza, si possono avere note diverse nel corno senza chiavi coll'introdurre più o meno il pugno entro al padiglione, rendendo così il tubo più o meno chiuso, più o meno lungo. Nel clarino, flauto, ecc. si aprono o chiudono coi diti o colle chiavi dei fori laterali, i quali corrispondono ai nodi, che si convertono in ventri nell'atto dell'apertura di essi fori, onde si hanno suoni più acuti. Negli istrumenti di ottone, che diconsi a *pistoni* od a *cilindri* si cambia a piacere la lunghezza del tubo, sia per mezzo di parti mobili a sfregamento, come nell'antico trombone, sia coll'aiuto dei tubi supplementari, i quali ora sì, ora no sono compresi nel circuito totale dell'istrumento.

CAPO VII.

DELLA RISONANZA

257. Cassa di risonanza. — Le corde ed i diapason quando sono tenuti isolati rendono un suono troppo debole, il quale per conseguenza ha bisogno di essere rinforzato; il che si ottiene col tendere la corda o fare riposare il corista sopra casse cave contenenti aria, la quale possa vibrare all'unisono colla corda o diapason, aumentando così notevolmente l'intensità del suono. Per aversi adunque un buon effetto, non deve la cassa essere di una grandezza qualunque, ma tale che contenga una certa quantità d'aria capace a prendere le vibrazioni del corpo sonoro. Abbiamo molti fatti, che dimostrano con quanta facilità le vibrazioni di un corpo sonoro si comunicano agli oggetti vicini. Allorchè in una città si esplode un cannone, tutti i vetri delle vicine case sono scossi, e vibrano con tanta energia, da nascere spesso la loro frattura. Anche il corpo dell'uomo si pone in questo caso a vibrare, e da questa vibrazione bene avvertita dai sordo-muti essi conoscono l'avvenuta esplosione. Vibrano pure i vetri delle chiese e delle case, quando si suona l'organo od ha luogo il suono di un'orchestra ecc. Che se le vibrazioni si comunicano a tutti i corpi vicini, molto meglio e con assai maggiore facilità si propagano a quei corpi, che possono oscillare all'unisono col suono che si diffonde. Supponiamo difatti, che sopra due casse armoniche vicine siano posti due coristi capaci di dare una medesima nota. Facciasi vibrare energicamente uno di essi: si vedrà che dopo qualche istante anche l'altro si pone ad oscillare per influenza del primo. Fermando questo, si ascolterà il suono del secondo, il quale non solo seguiterà a vibrare, ma ben tosto colla sua influenza rimetterà il primo in vibrazione. Ciò avviene precisamente perchè i due diapason dànno l'istessa nota. Imperocchè se si attacchi una pallottolina di cera all'estremità delle branche di uno di essi, con che si viene ad abbassarne il tono, il fenomeno più non ha luogo. Distrutto adunque l'unisono viene tolta l'influenza reciproca dei due diapason. Si apra un piano-forte, e si tolgano da esso i così detti *smorzatori*, ovvero avviciniamoci ad un' arpa. Se ci poniamo a cantare una scala, il piano e l'arpa canteranno la scala con noi, perchè vibreranno le corde, che sono all'unisono con le note emesse da noi. Il ch. Ferrini così chiarisce questo fenomeno. S'immagini che un individuo per mezzo d'una fune procuri di fare oscillare una pesante campana. Tirando egli la corda, obbliga la campana ad innalzarsi dalla parte opposta: questa ben tosto ridiscende per salire poi dall'altra parte, e

quindi ridiscendere di nuovo, concependo così un moto d'oscillazione eguale del tutto a quello di un pendolo (58). Ora se quel tale, che vuole sonare la campana, aspetta di dare il secondo tratto di corda, quando la campana sta appunto per cominciare la seconda oscillazione completa, aggiungendosi questo nuovo impulso a quello, che la campana possiede, la seconda escursione sarà più estesa della prima, e la terza strappata di corda l'ingrandirà ancora di più, e così ogni colpo successivo accrescerà sempre, sebbene poco alla volta, l'ampiezza delle oscillazioni. Per tal modo anche un debole fanciullo per mezzo di tratti di corda dati nel momento giusto, potrà fare oscillare dopo qualche tempo con ampie escursioni una massa pesantissima. Non altrimenti gli impulsi, che dall'alternativo condensarsi e diradarsi dell'aria, la quale trasmette un suono, pervengono ad una corda tesa, o ad un corista, benchè isolatamente incapaci a porre in moto queste masse, pure a forza di ripetersi a tempo opportuno, e di sommare i proprii effetti, finiscono a farli oscillare. È però necessario, perchè ciò si verifichi, che le successive spinte dell'aria arrivino alla corda od al diapason precisamente agli istanti, in cui questi per effetto della propria elasticità stanno per ricominciare le successive vibrazioni complete, ossia bisogna che il suono influenzante sia all'unisono con quello che può rendere la corda o il diapason. Per tornare al nostro esempio diciamo, che se uno mal pratico per suonare la campana tirasse la corda ad intervalli irregolari, non riescirebbe a nulla, poichè il moto, che i ripetuti suoi sforzi tenderebbero ad imprimere alla campana, sarebbe ora concorde ora in opposizione con quello, che essa possiede in quell'istante, e per ciò gli impulsi anderebbero fra di loro a distruggersi. Non altrimenti va la cosa, quando il suono trasmesso dall'aria non si trovi all'unisono con quello che può dare la corda od il corista: quantunque gli impulsi che l'aria imprime si succedano ad eguali intervalli, pure, non coincidendo questi colla durata delle oscillazioni delle corde o delle branche del corista, potranno per qualche poco accrescerne il movimento, ma ben presto s'incontreranno in fasi opposte, ed allora tenderanno invece a distruggere il movimento precedente.

258. Risonatori. — Sul principio esposto della risonanza ha Helmholtz costruiti alcuni apparati da lui detti *risonatori*, i quali servono a far sentire isolatamente alcuni suoni in mezzo ad un'assieme di molti altri. Consistono questi in globi cavi di vetro o di metallo, presentanti due aperture opposte l'una stretta e l'altra larga munite di corti tubi. Il minor tubo viene introdotto nel condotto d'un orecchio, che deve chiudere meglio che sia possibile, mentre l'altro si rivolge alla parte, da cui viene il suono. La grandezza del risonatore deve essere regolata in modo, che l'aria contenuta possa risuonare in corrispondenza di una data nota, cosicchè ciascun risonatore possegga un tono determinato. Kœnig ha costrutto risonatori di ottone di forma cilindrica, in cui la massa dell'aria vibrante può aumentare o diminuire per mezzo di tubi rientranti l'uno nell'altro, come quelli di un cannocchiale. Introducendo, come si è detto, l'imboccatura più stretta dell'apparecchio nel condotto auricolare in modo da occuparne tutto il vano, e

turando perfettamente l'altro orecchio, la maggior parte dei toni delle parole di un discorso, o delle note di una musica cantata o suonata si ode più debolmente del consueto. Ogni qual volta però nei suoni eccitati s'incontra il tono proprio del risonatore, esso si fa intensissimo, perchè è rinforzato dall'aria compresa nell'apparecchio, e che allora mettesi in vibrazione. L'effetto del risonatore si può rendere anche visibile col tendere una membrana sottile ed elastica nell'apertura maggiore. In un punto della circonferenza, in cui la detta membrana è tirata, si attacca con un poco di cera un leggerissimo pendolino, che sia in contatto colla membrana, corrispondendo il globetto al centro. I movimenti del pendolo faranno conoscere, quando l'aria del risonatore si ponga in vibrazione. Tale aggiunta però rende l'istrumento meno sensibile.

259. Risonatori a fiamme manometriche. — Kœnig ha costruito un apparecchio appellato *dei risonatori a fiamme manometriche*, il quale è così formato. Ad un telaio di legno verticale (fig. 160) sono fermati otto risonatori di grandezza tale da rendere la serie dei suoni armonici dell'ottava, che incomincia da do_2. L'orifizio più piccolo di ciascun risonatore è imboccato in un tubo di caucciù, che nell'altro capo mette in una cassetta manometrica dove con un apposito condotto arriva il gas illuminante, e la quale è del tutto simile a quella da Kœnig usata per riconoscere il posto dei nodi e dei ventri in un tubo sonoro (250). Le otto fiamme corrispondenti agli otto risonatori sono disposte le une sotto alle altre in una stessa retta più breve che sia possibile. Parallelamente alla serie delle fiamme vi è uno specchio di forma parallelepipeda, che si può far girare rapidamente intorno al proprio asse per mezzo di un sistema di ruote dentate coniche e di un manubrio. Di qui a poco (262) vedremo l'uso di tale apparato.

260. Risonanza delle membrane. — Allorchè si producono dei suoni vicino ad una membrana tesa in un telaio, questa si pone a vibrare all'unisono. Se si tende una membrana all'estremo di un tubo aperto, e si parli o canti avanti all'altra estremità di esso tubo, quella risuona, e ben si distinguono le sue vibrazioni. Savart ha fatto conoscere una proprietà delle membrane tese, ed è che qualunque sia il suono o grave o acuto, quella egualmente si pone a vibrare all'unisono.

CAPO VIII.

TEMPERA DEI SUONI

---

261. *Causa della tempera del suono* — 262. *Analisi del suono* — 263. *Metodo di Kœnig* — 264. *Sintesi del suono* — 265. *Apparato delle vocali di Helmholtz.*

261. Causa della tempera del suono. — Abbiamo già esaminate le prime due proprietà del suono, vale a dire l'intensità e

l'altezza: ora parlar dobbiamo della terza, ossia della tempera. Per molto tempo la causa del metallo della voce è rimasta ignota agli scienziati, e solo ai nostri giorni per opera di Helmholtz si è una tal causa resa nota. Diciamo pertanto che come l'intensità del suono dipende dalla lunghezza dell'onde sonore, l'altezza dal loro numero, così la tempera dipende dalla loro forma. Per persuaderci, che le onde sonore possono avere varia forma, basta di volgere lo sguardo sulla superficie di un lago, mentre un venticello ne increspa le acque: ivi vedremo un'infinità di onde diverse, le une terminanti in punta, altre dentate, altre ellittiche....., le quali tutte si succedono e s'incalzano con grande regolarità. Ognuno vede, che può avvenire lo stesso nell'onde sonore. Ma quale è la ragione, per cui queste prendono una diversa forma, da cui il diverso metallo del suono dipende? Rispondiamo, tale causa essere le armoniche, che accompagnano il suono fondamentale (243). Dicemmo esser cosa assai rara, che si abbiano suoni semplici: lo stesso diapason, che asserimmo dare per lo più un suono semplice, sfregato con un archetto rende un suono composto, come può verificarsi col metodo grafico (222), il quale nella curva tracciata sulla carta fa bene scorgere le sinuosità secondarie oltre alla primaria, quelle dovute alle armoniche, questa al tono fondamentale. Secondo che le armoniche sono in maggiore od in minor numero deve l'onda prendere una diversa forma: per il che sarà lo stesso dire, che la tempera dipende dalla forma dell'onda, o dire, che dipende dal numero e qualità delle armoniche. Che poi queste realmente influiscano nel timbro si dimostra coll'analisi del suono e colla sintesi.

262. Analisi del suono. — Avanti ad un apparecchio di risonatori di Kœnig (259) si faccia emettere da un istrumento una determinata nota: lo specchio c'indicherà quali fiamme tremolino, e ci farà conoscere, il suono essere composto, rendendo manifeste le armoniche di quel suono. Si faccia quindi rendere quella medesima nota da un altro istrumento. Si avrà l'istessa intensità, l'istessa altezza, ma tempera diversa: ebbene, l'apparato c'insegnerà, che diverse sono le armoniche in questo secondo caso, e potremo persuaderci, che quanto maggiore è il numero di esse armoniche, tanto più dolce e gradevole è la tempera. Se si tenga aperto un piano, e sollevati gli smorzatori, si canti una nota colla vocale *a*, vedrassi oscillare la corda corrispondente al tono fondamentale (257), ma oscilleranno simultaneamente altre corde, le quali faranno conoscere il numero e la qualità delle note armoniche. Cantandosi dipoi coll'istessa intensità ed altezza successivamente le altre vocali, si vedranno le armoniche variare.

263. Metodo di Kœnig. — Kœnig ha adattato ad un tubo di gomma elastica una specie d'imbuto, il quale possa applicarsi alla bocca in modo da cantarci dentro una data nota. Il tubo contenente aria termina coll'altro estremo nella solita capsula manometrica munita di un becco a gas, la cui fiamma si riflette in uno specchio girevole intorno al proprio asse. Cantando con una determinata nota successivamente le varie vocali, si vede nello specchio, che col mutarsi della vocale, ossia col cambiarsi della tempera, cambiano il numero e la forma dei denti del nastro, che è l'im-

magine della fiamma, perchè vengono a mutarsi il numero e la qualità delle armoniche.

264. Sintesi del suono — Esperimento di Kœnig. — Come noi abbiamo, per così dire, analizzato un suono composto, decomponendolo nelle sue armoniche; così possiamo fare la sintesi del suono, cioè possiamo riunire più suoni semplici, per averne uno composto dotato di una determinata tempera. È assai graziosa la seguente esperienza di Kœnig. Si disponga sopra una cassa di risonanza (257) un diapason di statura colossale, intorno al quale stiano parecchi altri coristi costruiti in modo da rendere le prime quattro o cinque armoniche del suono spettante al corista maggiore. Posti in vibrazione tutti quanti i diapason, si spande un magnifico suono, pieno, armonioso e grave, il cui tono è identico a quello del corista maggiore, e tal suono è percepito dall'orecchio come unico ed indecomponibile. Ma si ponga la mano sul grande corista, e si faccia così tacere; seguiteranno a sentirsi i suoni degli altri, ma ben separati fra loro: onde rimane manifesto, essere il suono fondamentale quello che tiene unite come in un fascio le armoniche in modo da produrre un unico suono.

265. Apparato delle vocali di Helmholtz. — Helmholtz per la sintesi del suono ha immaginato un apparecchiò detto *apparato delle vocali*, che è alquanto complicato; onde ci limitiamo a darne un'idea. Si abbia un corista A (fig. 161), il cui piede riposi sopra una sostanza soffice incapace a trasmettere le vibrazioni del corista al resto dell'apparecchio. Trovandosi il diapason per tal modo isolato, il suo suono è quasi insensibile, ma si fa bene intenso, se avanti ad esso trovisi il foro aperto di un risonatore cilindrico C, il quale è di dimensioni tali da sonare all'unisono col diapason. Una verga elastica D porta un coperchio O, che chiude la bocca del risonatore, quando non venga tirato il filo *f*: ond'è che il suono del corista si sente solamente allorchè si tira il detto filo. Per ottener poi, che il corista seguiti a vibrare per molto tempo, si fa che esso sia magnetizzato, e trovisi tra le branche di una elettro-calamita B (407), cosicchè ciascuna di queste branche abbia un polo vicino a quello di nome contrario del diapason. Facendo di tanto in tanto passare per l'elettro-calamita una corrente elettrica, le branche del corista saranno di tanto in tanto attratte dai poli della magnete temporanea e poi abbandonate, per la qual cosa dovranno seguitare a vibrare. Ciò ben'inteso, s'immagini, che sopra una tavola di legno siano disposti in fila otto coristi di varia grandezza in modo che i loro toni crescano in proporzione dei numeri 1, 2, 3,.....8. Ogni corista sia montato come quello testè descritto, e le aste degli otturatori dei risonatori abbiano le funicelle, che mettano capo ad otto tasti di una tastiera, in guisa che, abbassando questi, si possano rendere sensibili i suoni dei relativi coristi. Avvicinando poi od allontanando da un diapason il suo risuonatore, potrassi anche modificare a piacere l'intensità del suo suono. Con tale ingegnoso apparato, Helmholtz facendo contemporaneamente suonare alcuni diapason ed altri no, e rinforzando or l'uno, or l'altro di essi suoni, ha potuto imitare il suono del clarino, del violino e di altri istrumenti, come ancora il suono della voce umana nel cantare le singole vocali sopra un dato tono.

CAPO IX.

VOCE UMANA

266. Organo della voce. — L'organo della voce umana, quantunque assai semplice, pure è un istrumento musicale, che supera in soavità ed espressione tutti quelli fatti dalla mano dell'uomo. La descrizione completa di quest'organo spetta all'anatomia, e noi non faremo altro, che accennare quelle parti, le quali concorrono alla produzione della voce. La *trachea*, che è un tubo cartilaginoso, il quale viene dai polmoni, è seguito dalla *laringe*, che è pure un tubo cartilaginoso, il quale sporgendo nella parte anteriore del collo, vi dà origine al così detto *pomo di Adamo*. Presenta la laringe due lamine elastiche, che hanno preso il nome di *corde vocali*, e che sono attaccate in avanti all'angolo inferiore della cartilagine *tiroide*, e fissate nella parte posteriore alle due cartilagini *aritenoidi*, e sono separate fra loro da una fenditura assai angusta, che appellasi *glottide*, la cui parte anteriore è più specialmente destinata alla produzione della voce, mentre la posteriore serve piuttosto al passaggio dell'aria necessaria alla respirazione. Al disopra delle corde vocali vi sono due cavità, le quali hanno ricevuto il nome di *ventricoli di Morgagni*, e che servono a rendere libere le vibrazioni delle corde, allorchè si spiegano in alto in seguito ad un intenso soffio d'aria. Esistono due altre corde vocali superiori, le quali non sembrano aver parte importante nella produzione della voce. L'*epiglottide* è una specie di valvola, la quale abbassandosi copre l'apertura della laringe, onde impedire, che corpi estranei possano penetrare nelle vie aeree. Alcuni muscoli disposti a coppie si attaccano alle cartilagini della laringe, e tendono ad avvicinare, e ad allontanare le corde vocali tra di loro, avendo per ciò una parte essenziale nel meccanismo della voce.

267. Produzione della voce. — Perchè la voce sia sensibile è necessario, che le corde vocali siano tese, e che i muscoli espiratorii producano una corrente d'aria assai intensa, e perchè poi tale corrente sia in realtà energica, si richiede una certa strettezza della glottide. Se s'introduce nel fondo della bocca un *laringoscopio*, apparato di cui si parlerà in *Ottica* (850), facilmente si potranno vedere le immagini delle corde vocali, e se l'individuo sottoposto all'esperimento parla a voce alta, o canta, si vedranno le due corde vibrare, rigonfiandosi al loro mezzo, e prendere l'apparenza dei

nastri membranacei, di cui abbiamo parlato (255). Bene a ragione ha pertanto asserito Ferrein, che la voce è prodotta dalle labbra della glottide, le quali vibrano come le corde, essendo l'aria l'archetto, che le mette in oscillazione.

268. Esperimenti di Müller. — Müller ha fatto moltissime esperienze sulle laringi umane, che poi ha ripetute sulle laringi artificiali, di cui si parlerà nel prossimo paragrafo. Le principali conseguenze di questi esperimenti sono le seguenti: 1ª Le corde vocali inferiori, essendo stretta la glottide, danno suoni pieni e puri, se si soffia l'aria per il tubo tracheale: 2ª Allorchè si tolgono via le parti, che stanno al disopra della laringe, l'intensità della voce decresce: 3ª Per una medesima tensione delle corde vocali, il suono conserva la medesima altezza, sia che la parte posteriore della glottide stia chiusa, sia che stia aperta: 4ª Variando la tensione delle corde vocali, l'altezza del suono cambia, ed il cambiamento può avere l'estensione di circa due ottave, che presso a poco è quella della voce umana: 5ª Mantenendosi invariata la tensione delle corde, se si aumenta il soffio dell'aria, il suono si eleva di circa una quinta.

269. Laringi artificiali. — I risultati ottenuti da Müller si possono avere per mezzo di una laringe artificiale costruita con lamine di gomma elastica. È C (fig. 162) un anello, che rimpiazza la cartilagine *cricoide*, la quale è foggiata ad anello, ed è sostegno alle altre cartilagini laringee: *t* ed *a* sono pinzette, che fanno le veci delle cartilagini tiroide ed aritenoidi, M sono le lamine di gomma elastica, che figurano le corde vocali, e *p*, *p'* sono bacinetti, in cui si pongono i pesi, che debbono produrre la varia tensione dei lembi delle dette lamine. Si può anche usare un'altra laringe assai più semplice (fig. 163). Si tagli una sottile lamina di gomma elastica a forma di rettangolo, ed i due lembi estremi si facciano toccare insieme, stringendoli fra due lamine di metallo D tenute fisse con due viti. Viene in tal modo a formarsi un tubo elastico A, entro al quale s'introduce un tubo di vetro del medesimo diametro, che dà rigidità al primo nella parte inferiore, e lascia libera la superiore. Con un nastro il tubo elastico è legato sul tubo rigido, e con una mano è stretta e stirata una parte M del lembo opposto a quello congiunto al tubo di vetro. Formasi così una fenditura MN, la quale rappresenta la glottide con le due corde membranacee tese. Soffiando per il tubo di vetro, si sente un suono continuo ed intenso, e le due labbra vibrano energicamente, rigonfiandosi alla loro metà; e quanto più ampie sono le loro vibrazioni, tanto più intenso è il suono. Le due labbra oscillano all'unisono, quando esse sono di egual lunghezza, ed hanno una medesima tensione: ma se colla mano si tiri in guisa la gomma elastica, che le corde vadano ad avere diversa lunghezza e diversa tensione, si producono suoni differenti, che in generale danno origine ad uno spiacevolissimo disaccordo. In queste laringi artificiali l'aumento del soffio di poco accresce il tono, ma nelle vere corde vocali molto l'aumenta, come si è detto nel paragrafo precedente. Se la tensione delle labbra della glottide artificiale si accresce, il suono diventa più acuto. Diventa ancora più alto il tono, se si prenda tra i diti una parte

più grande della membrana di gomma elastica in modo di avere una glottide più corta; dal che si deduce, dipendere dalla minore lunghezza delle corde vocali l'acutezza della voce delle donne e dei fanciulli.

270. Voce di falsetto. — L'uomo può parlare sottovoce, discorrere a voce naturale, cantare, e cantare con *voce da falsetto*. Allorquando si parla sottovoce le corde vocali non vibrano, e le parole sono prodotte dall'aria, che sibila nell'attraversare la laringe, la bocca e le labbra. Oscillano poi le corde vocali, allorchè si parla a voce naturale, e molto più quando si canta (*). Si è poi osservato che quando si canta il falsetto, emettendo toni assai più alti di quelli del canto ordinario, la glottide è alquanto più larga del consueto, le corde vocali sono più tese e vibrano solamente ai loro lembi; e siccome poi esse labbra in tal modo corrispondono a corde di minor diametro; così render debbono un suono più acuto (246). Per la maggior larghezza della glottide l'aria emessa dai polmoni impiega minor tempo ad escire; ond'è che le note in falsetto non possono essere molto *tenute*.

271. Risonanza dell'aria contenuta nell'albero aereo, e nella cavità della bocca. — L'aria contenuta nei polmoni e nella trachea non cangia l'altezza del suono delle corde vocali, ma lo rinforza come se l'albero aereo fosse un risonatore (258). Le armoniche contenute nel suono della voce sono disugualmente rinforzate secondo i diversi individui: da qui la sì varia tempera delle voci umane (261), varietà, che conseguentemente deve ripetersi dalle varie dimensioni delle vie aeree. La voce ordinaria, allorchè è forte, mette in vibrazione non solamente l'aria contenuta nei polmoni, ma anche le pareti dei bronchi e del torace, cosicchè se si mette la mano sul petto, si sente un moto vibratorio, che si appella *fremito pettorale*: per la qual cosa alla voce naturale dassi il nome di *voce di petto*. La voce di falsetto fa molto meno vibrare le dette parti, ma invece fa entrare in vibrazione l'aria contenuta nella bocca e nelle cavità nasali; onde le si dà il nome di *voce di testa*.

272. Estensione della voce umana. — Abbiamo già detto che l'estensione della voce umana è di due ottave circa (268). Le voci di *basso* e di *tenore*, che appartengono agli uomini, sono più gravi di quelle del *contralto* e del *soprano*, che in generale sono voci da donna. Ecco approssimativamente l'estensione di queste differenti voci:

	Basso	*Tenore*	*Contralto*	*Soprano*
da vibrazioni	163 a 696,	da 266 a 1044,	da 348 a 1392,	da 522 a 2088.
	mi_1 fa_3,	do_2 do_4,	fa_2 fa_4,	do_3 do_5.

(*) Soffiando l'aria con un mantice entro ad una laringe tolta ad un cadavere per mezzo di un tubo, a cui lateralmente siasene congiunto un altro piegato a sifone e contenente mercurio, si è potuto dedurre, che quando si parla il soffio dell'aria produce un dislivello nel mercurio di 2 a 3 centimetri, il qual dislivello giunge a 6 e 7 centimetri nel canto, e può elevarsi anche a 20 e 24 centimetri nelle grida violenti e negli sforzi dello starnuto e della tosse.

273. Produzione delle vocali. — Devesi alla conformazione, che prende la bocca, la differenza di tempera, la quale fa diversificare una vocale dalle altre. Se si apra di molto la bocca, e si tenga la lingua in riposo e spianata sul pavimento orale, facendo vibrare le corde vocali, o semplicemente ispirando od espirando l'aria, si ha il suono della vocale *a*. Impiccolendo ed accorciando il tubo vocale tra la lingua ed il palato, si ottiene la vocale *e*. L'*i* si produce col massimo accorciamento del tubo vocale, elevando la laringe ed alzando il dorso della lingua contro il palato. Al contrario allungando il tubo vocale colle labbra, e facendone rotonda l'apertura ovale, si ottiene l'*o*; e finalmente si produce l'*u* allungando maggiormente colle labbra il tubo vocale. È adunque da considerarsi la bocca come un risonatore capace di variare di forma e grandezza (258), rendendosi così idoneo a rinforzare ora un'armonica ora un'altra. Se avanti ad un piano aperto privo di smorzatori cantiamo la vocale *a*, vedremo che l'armonica rinforzata è la nota $la^{\natural}_{4}$ (262): similmente avvicinando alla bocca disposta a pronunciare *a* un corista, che vibri dando la nota $la^{\natural}_{4}$, sentiremo rinforzare il suo suono. Nel medesimo modo si trovano le armoniche, che debbono rinforzarsi per avere le altre vocali. Conosciute queste armoniche non fu difficile ad Helmholtz far cantare le vocali al suo apparato (265).

274. Produzione delle consonanti. — Mentre sono le vocali suoni musicali, le consonanti consistono in rumori nati da una chiusura più o meno completa del tubo vocale. Quando tale chiusura è incompleta, il suono, ossia la vocale, non è del tutto interrotto ma rimane accompagnato dalla consonante, la quale dicesi consonante *sostenuta* o *semimuta*: di tal genere sono le consonanti *f*, *l*, *m*, *n*, *r*, *s*, *v*, *z*. Viceversa se le consonanti consistono in una momentanea perfetta chiusura del tubo vocale, sospendono momentaneamente la continuazione del suono, e si appellano consonanti *mute*, *vere*, *esplosive*, *non sostenute*, quali sono *b*, *c*, *d*, *g*, *p*, *q*, *t*.

L'interruzione poi più o meno completa della vocale, nella quale interruzione consiste la consonante può aver luogo:

1° Nella parte anteriore del tubo vocale, fra le labbra, ed allora si hanno le consonanti *labiali*, e queste sono le mute *b*, *p* e la sostenuta *m*.

2° Nella parte anteriore del tubo vocale, fra le labbra ed i denti — consonanti *labio-dentali* (sostenute *f*, *v*).

3° Nella parte anteriore superiore del tubo vocale, fra la punta della lingua ed il palato — consonanti *linguali anteriori* (mute *d*, *t*, sostenute *s*, *z*).

4° Nella parte media del tubo vocale, fra i lati della lingua ed il palato — consonanti *linguali medie laterali* (sostenute *l*, *r*).

5° Nella parte posteriore del tubo vocale fra la base della lingua ed il palato — consonanti *linguali posteriori* (mute *g*, *c*, *k*, *r*, sostenuta *q*).

Alcune lettere prendono pure uno dei seguenti nomi *striscianti*, *tremolanti*, *aspirate*, *nasali*, le quali parole da sè dimostrano la natura di esse lettere; *striscianti* sono *f*, *s*.

Tremolante è la *r*: se il tremolìo è prodotto dalla punta della lingua che vibra contro il palato, si ha l'*r linguale*; invece si produce l'*r gutturale* quando il tremolìo nasce dal vibrare del velo palatino contro la lingua.

Si ha l'*aspirazione* quando alla produzione del suono di una vocale si accompagni un brusco divaricamento delle corde vocali al terminare di esso suono. L'aspirazione si suole indicare colla lettera *h*.

Si dicono *nasali* i suoni i quali invece di passare per la bocca passano per le cavità del naso. Sono tali le consonanti sostenute *m*, *n*. Nasce da ciò, che quando le dette cavità nasali sono otturate, la pronuncia di *m* si cambia in *b*, e quella di *n* in *d*.

Perchè abbia luogo una voce nasale è necessario che il velo palatino non le chiuda il varco per le cavità delle narici. Ecco perchè se si empiono queste di un liquido non ne passa una gocciola alla gola finchè si pronunciano le lettere *orali*, ma ben si versa esso liquido nella faringe appena si proferiscono le lettere *m*, *n*: nella pronuncia delle orali il velo palatino tiene chiuse le cavità delle narici, le quali si aprono, allorchè le lettere nasali si emettono. Se quando si parla si tiene avanti al naso uno specchio, questo si appanna solamente al proferirsi delle lettere *m* ed *n*. Gli individui, a cui manca parte del velo palatino, parlano sempre con voce nasale.

CAPO X.

ORGANO DELL'UDITO

275. *Breve descrizione dell'orecchio* — 276. *Trasmissione dell'onde sonore all'orecchio* — 277. *Ipotesi di Helmholtz sulle fibre del Corti* — 278. *Fonautografo.*

275. Breve descrizione dell'orecchio. — Nell'uomo ed in generale nei mammiferi l'orecchio si divide in tre parti, cioè in orecchio *esterno*, *medio* ed *interno*. L'orecchio esterno componesi di un condotto C (fig. 164), il quale termina al di fuori col padiglione D, ed al di dentro colla membrana del timpano T, la quale è circolare e diretta obliquamente dall'alto al basso, dal di fuori al di dentro. Questa membrana separa l'orecchio esterno dal medio, che è formato dalla cassa del timpano *s*, specie di scatola o cavità praticata nella parte più dura dell'osso temporale, la quale comunica liberamente colla faringe mediante la *tromba di Eustachio* E, il che permette all'aria ivi contenuta di porsi continuamente in equilibrio coll'aria atmosferica esterna, ottenendosi con ciò, che

la membrana del timpano non mai sia più premuta da una parte che dall'altra, e non abbia a rigonfiarsi o verso l'esterno o verso l'interno. Rimpetto alla membrana del timpano nella parte ossea esistono due fori, dei quali quello che sta al di sopra viene detto *finestra ovale*, e l'altro collocato inferiormente *finestra rotonda*, ed ambidue sono chiusi da una sottile membrana. La finestra ovale comunica colla membrana del timpano mediante una serie o catena di ossicini rappresentati a parte nella fig. 165, e che sono il *martello*, l'*incudine*, l'*osso lenticolare* e la *staffa*. Il manico del martello *m* sta attaccato alla membrana del timpano *t*, e la sua testa, che ha la forma sferica, è unita ad articolazione colla grossa estremità dell'incudine *n*. L'altro estremo di questa si congiunge all'osso lenticolare *l* e questo alla staffa *e*, che colla base aderisce alla membrana tesa sulla finestra ovale: il manico del martello e la base della staffa sono presso a poco paralleli. Un piccolo muscolo appellato *tensore del timpano* si attacca col suo tendine poco al di sotto dell'asse di rotazione del martello al manico di questo, e lo tira al di dentro, e quindi tende la membrana del timpano, la quale prende la forma di un imbuto col vertice rivolto verso la cassa. L'orecchio interno detto ancora *labirinto* consta del *vestibolo* V (fig. 164) superiormente al quale trovansi i tre *canali semicircolari* R, e della *chiocciola* L, così detta per la sua forma sì interna che esterna assai simile ad una conchiglia turbinata. Il vestibolo mette capo alla finestra ovale, la chiocciola alla rotonda: vestibolo e chiocciola comunicano fra loro. Entro al labirinto osseo sta racchiuso il labirinto membranaceo, che è una specie di fodera interna del primo e contiene un liquido speciale detto *vitreo acustico*, nel quale si ramificano le estremità del nervo acustico N. Tutto l'interno della chiocciola è diviso da due membrane vicine in tre compartimenti *superiore*, *medio* ed *inferiore*, e nel medio il marchese di Corti scoprì un numero straordinario di fibrille elastiche, circa 3000, le quali hanno preso il nome di *fibre di Corti*.

276. Trasmissione dell'onde sonore nell'orecchio — Le onde sonore battendo nel padiglione e penetrando nel condotto uditivo, vanno a battere nella membrana del timpano, e la fanno vibrare all'unisono (*). È un fatto che questa piccola membrana è capace

(*) Si è creduto da molti, che tutto il padiglione servisse a riflettere le onde sonore verso la membrana del timpano; ma se la legge della riflessione dell'onde (79) si applichi alle varie parti del padiglione, si rende manifesto che nel meato uditivo solamente possono penetrare le onde riflesse dalla *conca*, ma non quelle riflesse dalle altre avvallature e sporgenze. Ma adunque queste ultime parti non avranno alcuna influenza nella trasmissione del suono? Certo che sì: imperocchè se queste non riflettono le onde aeree, si pongono esse stesse in vibrazione, e tali ondulazioni si propagano alle pareti solide del condotto uditivo, e da questo passano alla membrana del timpano. Il saggio autore della natura ha fornito il padiglione di tanti rialzi ed anfratti, perchè possa sempre presentare una qualche sua parte in posizione normale alle onde sonore, qualunque sia la direzione di queste, e così vibrare nella detta parte all'unisono con esse. Che veramente poi non solo la conca ma anche le altre parti dell'orecchio esterno influiscono nella trasmissione delle vibrazioni sonore, si dimostra col colmare e spianare con cera molle tutti gli incavi del padiglione; dopo di che non si odono bene se non le onde sonore che battono nella conca e nel meato uditorio.

a ricevere movimenti vibratorii estremamente complessi. Allorchè ascoltiamo una sinfonia eseguita da una numerosa orchestra, quanti sistemi di vibrazioni diversi giungono simultaneamente all'orecchio? eppure tutte queste diverse vibrazioni sono contemporaneamente accolte e ripetute dalla piccola membrana. Si è però osservato i suoni gravi essere intesi con minore intensità degli acuti, il che prova, che la detta membrana vibra più facilmente all'unisono coi suoni acuti. È opinione di Seebeck, che l'attacco della membrana del timpano col manico del martello opponga una grande resistenza alla produzione delle vibrazioni proprie di quella, ed è certo che la detta congiunzione deve molto limitare le vibrazioni di essa membrana, le quali per conseguenza debbono essere assai piccole, e quindi, come osserva Ludwig, oltre modo sensibili debbono dirsi gli estremi dei nervi, che da quelle sono eccitati. La tensione della membrana del timpano è variabile. Allorchè per mezzo del muscolo tensore questa aumenta, la membrana vibra più facilmente all'unisono con i suoni acuti, e quando la tensione diminuisce, quella meglio si adatta a vibrare all'unisono coi suoni gravi. Allorchè tendiamo l'orecchio per ascoltare con attenzione, il martello, obbedendo alla volontà, stira secondo che è necessario la membrana del timpano, come la pupilla si dispone a nostro piacimento, quando vogliamo fissare un oggetto. Oltre alle vibrazioni comunicate dalle onde sonore alla membrana, della quale parliamo, questa ha una vibrazione propria, corrispondente alla sua tensione, lunghezza ecc., la quale, se viene secondo Seebeck, come si è detto, affievolita per la congiunzione col martello, non è del tutto distrutta. A percepire il suono spettante a queste vibrazioni proprie della membrana, si deve chiudere coi diti il condotto uditivo, ed allora parlando o cantando, si ascolta indipendentemente dai suoni della laringe, che sono trasmessi per i tessuti e per le ossa del cranio all'orecchio interno, il suono proprio assai acuto della membrana del timpano. Tenendo perfettamente chiusi i canali uditivi delle due orecchie, e mantenendo un perfetto silenzio, si fa sentire un sordo rumore, il quale cessa, se si lascia il più piccolo pertugio al passaggio dell'aria esterna. Molti fisiologi sono di parere assai probabile, tale rumore particolare doversi attribuire all'essere spinta la membrana del timpano dall'aria racchiusa nel tubo uditivo verso la parte interna dell'orecchio, esercitando una leggera pressione, che viene trasmessa al nervo.

Risulta dal detto fin qui, che il padiglione trasmette riconcentrate le onde sonore alla membrana del timpano. Siccome poi la conca è ripiegata dal didietro al davanti, meglio raccoglie le onde sonore, che vengono dal davanti al didietro, e queste sono riflesse verso il canale uditivo con maggiore intensità di quelle provenienti da una direzione opposta. Da ciò proviene, che si sa determinare la direzione, secondo cui giunge il suono all'orecchio, e la posizione del corpo sonoro.

Le vibrazioni della membrana del timpano eccitate dall'onde sonore si comunicano mediante l'aria della cassa alla finestra rotonda, e mediante la catena degli ossicini alla finestra ovale. Le membrane tese su questi due fori fanno vibrare il liquido del laberinto e per

conseguenza anche le ramificazioni del nervo acustico, che in esso nuotano. Si deve qui avvertire, che tolta la membrana del timpano si seguita ad udire, quantunque imperfettamente, perchè in questo caso le vibrazioni sonore sono immediatamente trasmesse e comunicate alle membrane delle due finestre.

277. Ipotesi di Helmholtz sulle fibre del Corti. — Mentre una folla di onde tra loro confuse giunge all'orecchio, questo analizza un tal sistema di vibrazioni intrecciate, cosicchè noi percepiamo i varii suoni, e veniamo a conoscere i corpi sonori, che loro hanno dato origine. L'aria d'una sala da ballo, dice Helmholtz, è percorsa in ogni senso da una folla di onde che s'intrecciano graziosamente. Dalle bocche degli uomini escono onde, la cui lunghezza varia da due a tre metri, da quelle delle donne onde lunghe da un mezzo metro ad un metro. Il fruscio degli abiti produce piccole ripiegature nell'aria: ogni nota dell'orchestra forma le sue onde, e tutte quest'onde si propagano per sfere intorno alla propria sorgente, si attraversano, si riflettono contro le pareti, rimbalzano qua e colà, finchè dominate da nuove onde si estinguono. È uno spettacolo, che l'occhio non discerne, ma che l'orecchio distingue assai bene. Esso scompone tutto questo guazzabuglio di onde, più inestricabile di quello di un mare procelloso, nei suoni parziali che lo compongono. Discerne le voci degli uomini, delle donne, di ciascun individuo, vi riconosce il suono di ciascun istrumento, il fruscio degli abiti, il rumore dei passi. Da che dipende questa proprietà dell'orecchio di analizzare così bene le onde complesse che lo colpiscono? È assai probabile l'ipotesi data intorno a ciò dallo stesso Helmholtz, il quale crede, che ogni fibrilla di Corti abbia a considerarsi come una corda vibrante all'unisono con una nota o suono diverso, sicchè vibri soltanto, quando è scossa dall'onda corrispondente (257). Avverrebbe in una parola ciò, che, come abbiamo detto, succede allorquando cantiamo avanti ad un piano o ad un'arpa, le cui corde ripetono i suoni emessi corrispondenti. Si suol dire quindi poeticamente, essere la chiocciola un'arpa di 3000 corde, che rispondono simpaticamente a tutti i possibili suoni, che vanno a percuotere l'orecchio.

278. Fonautografo. — Un apparato il quale ha una qualche analogia coll'orecchio esterno è il *fonautografo* immaginato da Scott e costruito da Kœnig. Questo consiste in un elissoide cavo di gesso, aperto ad una sua estremità: all'altro estremo porta un fondo solido al cui centro è adattato un tubo di rame piegato a gomito chiuso nella sua estremità esterna da una sottile membrana di vescica, o di gomma elastica, o di collodion, la quale membrana può venire più o meno tesa. Su questa è fissato con gomma o colla un cilindretto di midolla di sambuco, a cui è annesso un leggerissimo stilo destinato a partecipare a tutti i movimenti della membrana stessa. Vi è ancora un macchinismo, per mezzo del quale si ottiene, che il detto cilindretto corrisponda sempre ad un ventre e non mai ad un nodo. A contatto della punta del suddetto stilo trovasi un cilindro suscettibile di rotare intorno ad un asse orizzontale, avanzandosi in pari tempo nel senso dell'asse, mediante una vite che gira in una madrevite fissa. La superficie del cilindro

si copre con un foglio di carta tinta con nero-fumo. Quando non si produce alcun suono lo stilo traccia sul cilindro che gira una spirale regolarissima; ma se viene emesso un suono qualunque, la membrana tosto entra in vibrazione, e la curva tracciata dalla punta è una linea sinuosa composta di numerosi denti. Se il suono è debole i denti sono piccoli, e sono grandi quando il suono è intenso: se questo è grave i denti sono lontani gli uni dagli altri, ma sono assai vicini se il tono è acuto. Sono regolarissimi allorchè la tempera è pura, disuguali e poco precisi quando il suono è di un timbro sgradevole.

CAPO XI.

INTERFERENZE DELL'ONDE SONORE — BATTIMENTI

279. *Interferenze propriamente dette* — 280. *Battimenti* — 281. *Causa delle dissonanze e consonanze.* — 282. *Suoni risultanti.*

279. Interferenze propriamente dette. — Si è dimostrato in altro luogo (76), che se due sistemi di onde si sovrappongono, può avvenire o un aumento di moto, od una diminuzione, ed anche un'estinzione del moto stesso secondo che nel punto d'incontro le onde che si sovrappongono hanno una medesima fase o fase diversa. Ora diciamo che questo medesimo fenomeno d'interferenze ha luogo ancora nelle onde sonore. Supponiamo difatti (fig. 166) che A B, C D rappresentino due sistemi di onde prodotte da due corpi sonori e tali che abbiano l'istessa durata. In qualunque punto s'incontrino avranno la medesima fase, quando abbiano percorsa una egual via, od una via diversa per un numero pari di semiondulazioni (69). Quindi avverrà che confondendosi insieme produrranno un sistema di onde rappresentato da E F, i cui monti e valli hanno un'altezza eguale alla somma delle altezze delle onde dei due sistemi separati, e ne risulterà un aumento d'intensità. Che se i due sistemi di onde sonore siano tali, che differiscano nel viaggio per un numero dispari di semiondulazioni, essi, come vedesi in G H, L M (fig. 167), s'incontreranno in fasi diverse, e per ciò cesserà ogni moto e conseguentemente anche il suono, quando le altezze delle onde dei due sistemi siano eguali, o vi sarà diminuzione di moto, e quindi d'intensità di suono, se siano disuguali le dette altezze. Nei due sovraesposti casi l'aumento e decremento d'intensità o l'estinzione del suono rimangono costanti, ed allora il fenomeno prende il nome d'*interferenze propriamente dette*, e si può sperimentare colla sirena doppia di Helmholtz (221). Si disponga questo apparato in modo, che siano in azione due sistemi di fori, uno per sirena,

e tali che il numero dei fori sia eguale in ambidue, e si faccia che i buchi della sirena superiore siano precisamente coincidenti con quelli dell'altra. In questa disposizione i colpi impressi nell'aria dai due ordini di fori saranno sincroni, e le onde che ne nascono avranno nell'incontro una medesima fase, e per ciò avrà luogo un costante rinforzo di suono. Che se al contrario si dispone l'apparato in guisa che i buchi della serie superiore cadano negli spazii, i quali separano quelli della serie inferiore, sicchè i colpi impressi all'aria da una sirena succedano alla metà degli intervalli, che separano le impressioni prodotte dall'altra sirena; i due sistemi di onde nel confondersi si troveranno in fasi diverse, e per conseguenza si estingueranno. Ci avvedremo però, che i suoni fondamentali sono quelli, che realmente si estinguono, ma non le armoniche; ed eccone la ragione. Se i suoni fondamentali delle due sirene, cioè i sistemi di onde relativi, hanno una differenza di viaggio di un numero dispari di semiondulazioni, le prime armoniche, vale a dire le ottave acute, siccome sono costituite da un numero doppio di vibrazioni, debbono avere una differenza di viaggio di un numero pari di semiondulazioni, e per ciò si rinforzeranno. Adunque estinguendosi il suono fondamentale, si aumenta l'ottava acuta.

Malinin ricorre al principio delle interferenze per spiegare l'officio dei canali semicircolari dell'orecchio (266); il quale officio secondo lui sarebbe di estinguere le onde sonore, che nella chiocciola hanno eccitato le fibre di Corti. Le dette onde secondo Malinin sono assorbite dai menzionati canali, ed ivi riflettendosi ed incontrandosi interferiscono e vengono ad estinguersi. Nota però Monoyer, che tale estinzione potrebbe ancora avere luogo per l'incontro dell'onda trasmessa per la catena degli ossicini con quella trasmessa dall'aria per la finestra rotonda.

280. Battimenti. — Nel precedente caso si è supposto, che i due suoni i quali interferiscono siano di eguale altezza, nel qual caso è costante l'aumento od il decremento d'intensità. Esaminiamo adesso ciò che avvenga quando i due suoni siano di diverso tono, e per ciò costituiti da diverso numero di vibrazioni. Percorrendo i due sistemi di onde una via di eguale lunghezza, non saranno nel punto di loro incontro sempre in fase eguale o disuguale, ma ora la fase sarà identica, ed avverrà un momentaneo rinforzo, ora in fase contraria, ed avrà luogo un temporaneo abbassamento d'intensità: queste variazioni d'intensità di un suono, che si succedono in un modo regolare, costituiscono i così detti *battimenti*. Se tra due suoni simultanei vi sia la differenza di una vibrazione per secondo, durante un secondo si troveranno una volta in fase eguale, ed una volta in fase contraria; quindi in un secondo avrà luogo un rinforzo od un indebolimento d'intensità; vale a dire si avrà un battimento in ogni secondo. Parimente se la differenza fra due suoni è di due vibrazioni al secondo, si sentiranno in ogni secondo due battimenti. In genere dovrà dirsi, che due suoni simultanei generano in ogni secondo un numero di battimenti eguale alla differenza che esiste fra i loro numeri di vibrazioni. Se i suoni sono semplici, ad ogni coincidenza di una semionda positiva con una semionda negativa si avrà estinzione di suono, ma se quelli sono

composti, allorchè si estinguono i suoni fondamentali, si rinforzano le prime armoniche, ed il tono passa all'ottava acuta per la ragione esposta nel paragrafo precedente. Anche le armoniche poi hanno i loro battimenti, i quali facilmente si potranno dedurre dal confrontare i numeri delle loro vibrazioni.

281. Causa della dissonanza e consonanza. — Dicemmo (238), che due suoni possono accordare o discordare fra loro, possono cioè eccitare una piacevole od una disgradevole sensazione. Helmholtz ha fatto conoscere, la discordanza doversi ripetere dai battimenti. Questo illustre sperimentatore ha verificato, che fino a tanto che i battimenti si producono con lentezza da 4 a 6 per secondo non dànno sensazione spiacevole, anzi possono essere usati in musica per dare un certo tremito alle note. Che se invece i battimenti si succedono con tanta rapidità da non potersi numerare, il suono addiviene confuso, aspro, stridente, si avrà cioè la dissonanza. Secondo Helmholtz la massima asprezza del suono corrisponde a 33 battimenti per secondo, e diminuisce partendo da questo numero sia in un senso sia nell'altro. Ma non è il solo numero dei battimenti, che influisce sull'asprezza del suono, bensì deve aversi riguardo anche all'intervallo, il quale passa tra le due note, poichè la dissonanza diminuisce coll'aumentarsi dell'intervallo, rimanendo eguale il numero dei battimenti. Ad esempio le note simultanee $si_3 — do_4$, e le altre $si_2^{\flat} — do_3$ dànno egualmente 66 battimenti per secondo, e nondimeno il primo intervallo che comprende un semitono è più discordante del secondo, che abbraccia un tono.

Ma perchè i battimenti debbono rendere sgradevole un suono? S' immagini di avere una corda tesa, la quale si ponga a vibrare eccitata dai battimenti prodotti da due suoni simultanei: le oscillazioni di questa corda non saranno di una eguale ed uniforme ampiezza, ma presenteranno dei massimi e dei minimi. Il medesimo avverrà nelle fibre del Corti (277): quando due suoni impressionino le medesime fibre, produrranno in queste delle vibrazioni presentanti dei massimi e dei minimi nella lora ampiezza. Da questa specie d' intermittenza nasce un'eccessiva fatica nell'organo eccitato e quindi la spiacevole sensazione. Difatti quando una sensazione è durevole, la sensibilità dei nervi corrispondenti addiviene ben presto ottusa, ed i nervi sono con ciò preservati da un soverchio eccitamento; ma quando al contrario l'impressione è interotta, ad ogni intermittenza i nervi ritornano in quiete per essere subito di nuovo eccitati, e così l'irritazione riesce faticosa e violenta. I battimenti secondo l'esposto irritano i nervi acustici, come i raggi solari, che intermittentemente battono negli occhi di chi cammina lungo una siepe, irritano i nervi ottici. Sono i battimenti delle note armoniche, che spesso rendono dissonanti i suoni musicali. Al contrario l'aggradevole sensazione della consonanza è prodotta da un' impressione continuata. Se si analizzino due suoni simultanei si trova la consonanza essere tanto più perfetta, quanto maggiore è il numero delle armoniche identiche e comuni ad entrambi, e quindi quanto minore è il numero dei battimenti che ne derivano. Ora il numero delle armoniche comuni ai due suoni è tanto maggiore quanto più semplice è il rapporto che passa tra i numeri

delle vibrazioni spettanti ai due toni fondamentali, per il che l'accordo è tanto più soave quanto più semplice è il detto rapporto, come altrove si è notato (238).

282. Suoni risultanti. — Allorquando due suoni di diversa altezza hanno luogo simultaneamente, spesso se ne sente un terzo più grave dei due altri, al quale si suol dare il nome di *Suono di Tartini*, perchè fu osservato da questo celebre violinista, ma prima di lui da Sorge organista alemanno. Questo suono, ritenuto già come fenomeno subiettivo, si dimostrò da Helmholtz essere obbiettivo, e provenire dai battimenti. Invero le onde producenti due suoni di differente altezza nell'unirsi danno luogo ai battimenti, cioè a maggiori condensazioni e rarefazioni di aria, che si alternano regolarmente. L'aria, che in tal modo subisce un massimo d'addensamento e rarefazione, diventa centro di un altro sistema di onde, il cui numero di vibrazioni è eguale a quello dei battimenti, e per ciò eguale alla differenza dei numeri delle vibrazioni spettanti ai suoni componenti. È per questa ragione, che Helmholtz ha dato a questo suono più grave il nome di *suono differenziale*. Il medesimo scienziato, trattando col calcolo l'esposto suono risultante, venne a scoprirne un altro più acuto dei due che gli danno origine, e che nasce da un numero di vibrazioni eguale alla somma di quelli relativi alle due note componenti. Questo secondo suono risultante è chiamato da Helmholtz *suono addizionale*.

CAPO XII.

PRINCIPII DI PERCUSSIONE E DI ASCOLTAZIONE

283. *Rumori istantanei* — 284. *Plessimetro* — 285. *Caratteri generali dei rumori prodotti colla percussione* — 286. *Principali forme di questi* — 287. *Rumori prolungati* — 288. *Rumori che hanno luogo nell'apparato respiratorio* — 289. *Rumori che avvengono nell'apparato della circolazione* — 290. *Rumori di contrazione muscolare* — 291. *Stetoscopio* — 292. *Otoscopio.*

283. Rumori istantanei. — I rumori possono essere istantanei e prolungati. I primi si avvicinano di più ai suoni musicali, i quali, come più volte abbiamo detto, hanno origine da vibrazioni regolari. Allorchè si batte un corpo contro l'altro, si ha un rumore istantaneo, perchè le molecole dall'urto spostate, a motivo dell'elasticità del corpo, si pongono ad oscillare intorno al loro punto d'equilibrio, e le vibrazioni sono regolari, in modo che se esse proseguissero per qualche tempo, darebbero origine ad un suono musicale: siccome però le dette vibrazioni ben tosto cessano, anzi che far nascere un suono musicale, producono un rumore istantaneo.

284. Plessimetro. — Interessa spesso al medico di conoscere i caratteri dei suoni istantanei prodotti per mezzo della percussione nelle varie parti del corpo umano. La percussione si suole eseguire, battendo più o meno leggermente colla mano destra sul dito medio della sinistra applicata sulla regione del corpo, che si vuole esplorare, o meglio sopra una placca d'avorio detta *plessimetro* posta a contatto del corpo; sulla qual placca invece di battere col dito, si può battere con un piccolo martello, la cui testa porta un piumacciuolo di caucciù. Il plessimetro percosso dà un suono brevissimo, e per ciò privo di carattere musicale; ma questo rumore è modificato dalla risonanza (257) delle parti, su cui poggia l'istrumento. Se queste parti sono solide, tutta la loro massa si mette a vibrare per influenza; ma se sotto la regione percossa vi è una cavità piena di gas, questa fa l'officio di una vera cassa di risonanza, e rinforza nel suono dato dal plessimetro quella nota, con cui può vibrare all'unisono.

285. Caratteri generali dei rumori prodotti colla percussione. — I rumori, che colla percussione si producono nel corpo umano, diversificano fra loro in rapporto della intensità, o dell'altezza, o della durata. Essendo sempre la stessa la percussione, il rumore è tanto più intenso, quanto più la massa sottoposta al plessimetro è capace di risonare. Se sotto alla parete percossa vi sono cavità piene di gas, la risonanza prodotta da questo gas rinforza il suono tanto più energicamente, quanto minore quantità di sostanza capace di estinguere le vibrazioni si trova nell'interno di esse cavità, o nelle loro pareti. L'altezza del suono prodotto per la percussione dipende dalle dimensioni del corpo che vibra, essendosi dimostrato, che il numero delle vibrazioni trasversali eseguite da una verga parallelepipeda è proporzionale alla sua ertezza, ed è in ragione inversa del quadrato della sua lunghezza e della radice quadrata della sua densità. Si noti però, che trattandosi delle varie parti del corpo umano, a motivo della loro forma e struttura assai complesse, non può stabilirsi una regola precisa relativa all'altezza del suono causato dalla loro percussione. Si sa inoltre, che nei corpi elastici di eguale sostanza e forma i numeri delle vibrazioni sono nella ragione inversa delle dimensioni omologhe. È per questa legge, che percossa una medesima parte in un bambino ed in un adulto, dovremo avere in quello un suono più alto, in questo un tono più grave. Quando si produce un suono colla percussione di una parte avente sotto di sè una massa gasosa chiusa in uno spazio cavo, la sua altezza dipende dalle dimensioni di tale cavità e della apertura, che la mette in comunicazione coll'aria esterna. Se la forma della cavità si avvicina a quella di un tubo cilindrico, il tono è tanto più grave, quanto più il tubo è lungo e largo, ed esso tono si abbassa ancora col restringersi dell'apertura. Allorchè la parte percossa è di tale natura da potere conservare il moto vibratorio, il quale le è stato comunicato, il rumore di percussione cresce nella durata, e più si avvicina al suono musicale; il che specialmente avviene, quando la percussione si eseguisce su di una parte, che ha sotto di sè una massa gasosa contenuta in una cavità a pareti liscie, non troppo tese, e che non contiene sostanze capaci

di estinguere le vibrazioni. Per lo più l'aumento di durata del suono è accompagnato da aumento notevole d'intensità.

286. Principali forme dei rumori generati dalla percussione. — Nel linguaggio medico si usa una terminologia particolare per esprimere la graduazione dei rumori causati dalla percussione, la quale ora ci facciamo ad indicare sommariamente. Il rumore si suol chiamare *matto* od *ottuso*, quando esso è in pari tempo debole e corto in modo, che non si può senza difficoltà comprenderne il tono: si ha un rumore di questa specie nella percussione delle grandi masse muscolari, ad esempio della coscia. Si dice il suono *oscuro* o *profondo*, allorchè è debole e breve in guisa però, che si prolunghi più di quello del plessimetro; tale è quello, il quale si ha percuotendo delle parti, sotto cui si trovano masse gasose capaci di risonare, ma le cui vibrazioni sono presto estinte dall'interposizione di prodotti solidi. Questo caso si presenta nella percussione del torace, allorchè i polmoni al livello della parte esplorata sono occupati da essudati. Il rumore oscuro si trasmuta gradatamente in matto a misura che la quantità degli essudati aumenta, e specialmente se questo soffice prodotto si deposita fra le lamine della pleura. Un suono più intenso, di maggior durata del precedente, e che più si avvicina al suono musicale, si suol chiamare *pieno*, o *chiaro*. Ne abbiamo un esempio percuotendo un torace sano. In questo caso il rumore è dovuto alle vibrazioni delle pareti presso a poco rigide, che vengono a rinforzare la risonanza della massa d'aria contenuta nei polmoni. Nondimeno la risonanza è indebolita dalla presenza del parenchima polmonale. L'esagerato sviluppo del sistema muscolare o del tessuto adiposo, che ricopre le pareti del petto, tende a rendere oscuro il detto rumore, perchè le vibrazioni della parte percossa rimangono estinte da questo strato di sostanza molle, come le vibrazioni della pelle d'un tamburo sono smorzate dal contatto di un drappo, il quale per ciò ne fa diventare sordo il rumore.

Ma noi fin qui abbiamo presi come sinonimi le denominazioni di *oscuro* e *profondo*, e di *chiaro* e *pieno*, tra le quali vi è però differenza in quanto alla tonicità. Invero tanto il suono *oscuro* o *sordo* quanto il *profondo* o *vuoto* sono deboli e brevi; ma mentre il primo è grave, il secondo è acuto. Parimente il suono *chiaro* ed il *pieno* sono robusti e durevoli, ma il primo è acuto, grave il secondo: quindi è che un suono chiaro se diminuisce d'intensità, di durata e cala di tono addiviene oscuro, ma se non cala di tono, e solo diminuisce d'intensità e di durata, passa ad essere profondo.

Un'altra forma particolare di rumore originato dalla percussione è quello, a cui si dà il nome di *suono timpanico*, o *timpanitico*. Questo per la sua notevole durata si avvicina più dei precedenti al suono musicale, cosicchè un orecchio esercitato bene ne distingue il tóno. Il suono timpanico ha luogo, quando sotto alla parte percossa esiste una massa gasosa posta nelle circostanze più favorevoli alla risonanza. Per tal motivo la percussione delle pareti addominali distese per una accumulazione di gas produce un suono timpanico, il quale è pur dato dalla percussione del torace, quando il petto racchiude un volume di gas limitato da pareti liscie, ed in uno

stato di conveniente distensione. È necessario però, che la tensione delle dette pareti non sia troppo considerevole, perchè in tal caso le vibrazioni sonore rimarrebbero modificate, ed il rumore cesserebbe di essere timpanico. Difatti una vescica ben gonfia d'aria, percossa che sia, non rende il suono timpanitico, ma emette questo allorchè sia divenuta alquanto sgonfia. Medesimamente se fassi la percussione sopra un polmone sano d'un vivente, per essere ben disteso dall'aria, produce un suono pieno; che se si percuote il polmone di un cadavere, il quale è meno disteso, il rumore riveste il carattere timpanico.

Finalmente quando il rumore per la sua maggiore durata di più si avvicina al suono musicale, appellasi *metallico*, e questa specie di rumore ben si fa conoscere per mezzo delle vibrazioni sonore, che fanno seguito al rumore istantaneo del colpo, e che ne prolungano la durata: tali vibrazioni nettamente si distinguono dal rumore del colpo per la loro debole intensità, e per la purezza del suono, che ne nasce. Si osserva un suono di tale natura, percuotendo dei punti, sotto cui esistono cavità piene di gas, e le cui pareti sono costituite da membrane assai resistenti ed a superficie levigate.

287. Rumori prolungati. — Abbiamo detto (283), che oltre ai rumori istantanei, si hanno rumori prolungati. Questi ultimi nascono da vibrazioni, che si ripetono ad intervalli irregolari (220), o che variano di tono continuamente ed irregolarmente, ovvero sono prodotti dall'emissione simultanea di note discordanti. A questa ultima specie di rumori appartengono il *rullo* ed il *ronzio*, i quali hanno molta somiglianza con il suono nato dalla combinazione di più note accompagnata da battimenti di grande intensità (280). Si può in questi rumori riconoscere fino ad un certo punto la tonalità. Il rullo consiste in una successione di suoni musicali assai gravi separati l'uno dall'altro da intermittenze molto corte. Se i battimenti si succedono con rapidità assai maggiore ed il tono sia molto più alto, avrassi il ronzio. Finalmente se i battimenti nascono da note vicine al limite superiore dei suoni percettibili, si avrà lo *strido*. Il *rantolo* ed il *crepitìo* hanno per causa una successione di scotimenti dell'aria, di cui ciascuno separatamente ha una durata sì corta, che l'orecchio non può apprenderne la tonalità. Ad esempio si ottiene un intenso rantolo col far girare rapidamente due ruote di legno, i cui denti s'incastrino fra di loro. Ogni qual volta un dente della ruota, alla quale direttamente s'imprime il moto di rotazione, abbandona un dente dell'altra, questa vibra e dà il suono che le è proprio, e che durando un tempo brevissimo non ha un tono discernibile. Che se la seconda ruota è piccolissima, invece di sentirsi il rantolo, si sente il crepitìo, che non differisce da quello se non per la sua acutezza.

Altri rumori hanno per causa una serie di suoni di altezza differentissima, e che sempre si succedono con un medesimo ordine e rapidamente. Di questo genere è il *gorgoglìo*, che ha luogo allorquando bolle di aria attraversano un liquido chiuso in un tubo. Ciascuna bolla penetrando nel liquido genera un suono grave, la cui altezza dipende dalle dimensioni del tubo: al momento poi nel quale giunge alla superficie superiore del liquido si rompe e rende

un suono più acuto, la cui altezza dipende dalle dimensioni della bolla stessa.

Meritano pure menzione i rumori detti *soffio* e *sibilo*, che hanno per causa scotimenti dell'aria assai irregolari. Il soffio si sente quando una corrente d'aria attraversa un'apertura assai larga, od un tubo la cui sezione bruscamente si allarghi. In questo punto le molecole aeree prendono un movimento vibratorio, e producono una specie di vortice simile a quello che vedesi in un liquido il quale scorre per un tubo di diametro vario. Avviene poi nell'aria ciò che succede del liquido, cioè il detto vortice è più considerevole quando l'aria da una parte più stretta passa ad un'altra più larga di quello che se il passaggio avvenisse in senso contrario. È per questo che il soffio meglio e più intenso si fa sentire nel primo che nel secondo caso. Se l'apertura per cui passa l'aria è molto stretta, il soffio si converte in sibilo.

288. Rumori che hanno luogo nell'apparato respiratorio. — Molti rumori continui hanno luogo nel corpo umano, i quali debbono essere esaminati dal medico. Incominciamo dall'indicar quelli che si producono nell'organo della respirazione. Questo apparato presenta due punti, nei quali cambia di diametro bruscamente; cioè avvi un ristringimento nell'entrata della laringe, ed un dilatamento nel punto in cui le ultime ramificazioni dei bronchi terminano nelle vescichette polmonali. In questi due punti pertanto, secondo quello che poco fa si è detto, devesi originare un soffio. Quello che si fa sentire all'origine della laringe è aspro, e l'altro che si produce a livello delle vescichette polmonali è assai fino, e si sente coll'applicare l'orecchio al petto. Cambia poi l'intensità di ciascuno di questi due soffi secondo che ha luogo un'ispirazione od una espirazione d'aria. Nell'ispirazione l'aria, entrando nella laringe, passa in una parte più ristretta, e s'introduce in una parte più larga allorchè giunge ai polmoni. Succede il contrario nell'espirazione, poiche l'aria nell'escire dalla cavità polmonale penetra in un tubo ristretto, e nell'escire dalla trachea passa in uno spazio più largo. Adunque per quello che si è detto nel precedente paragrafo, il soffio, che ha luogo nella trachea, deve essere più debole nell'ispirazione, più intenso nell'espirazione; ed al contrario il soffio polmonale deve avere minore intensità nell'espirazione, maggiore nell'ispirazione. Un ristringimento anormale nel calibro dei bronchi in seguito al gonfiamento della muccosa può dare origine ad un soffio intensissimo, ed anche ad un sibilo. Allorchè le pareti interne dei grossi bronchi sono coperte di muccosità, a ciascun movimento respiratorio si produce un rantolo, e se la muccosità occupa i piccoli bronchi, il rantolo si converte in crepitìo. La causa di questi rumori sembra essere la seguente. L'aria che attraversa il liquido, il quale chiude l'ingresso dei bronchi, forma delle bolle che rompendosi producono il rantolo ed il crepitìo. D'altro canto le pareti delle piccole ramificazioni bronchiali nell'espirazione si attaccano insieme e si distaccano violentemente nell'ispirazione. A buon diritto si suole distinguere il rantolo *secco* dal rantolo *umido*, provenendo il primo dal passaggio delle bolle d'aria per un deposito di mucco viscoso, il secondo dal passaggio dell'aria per un

liquido fluidissimo. Si sa difatti, che una bolla d'aria, che si rompe in un liquido viscoso, rende un suono breve e del tutto privo di carattere musicale: ma se la bolla si rompe in un liquido assai fluido, il rantolo si avvicina al gorgoglìo. In fine se le pareti dei bronchi sono ingrossate in modo che la colonna d'aria contenuta nell'albero aereo possa vibrare all'unisono con i rumori emessi nei bronchi stessi, il rantolo può essere molto rinforzato, e si avrà il rumore detto *rantolo consonante*.

289. Rumori prodotti nell'apparato della circolazione. — Anche nell'organo della circolazione sanguigna hanno origine dei rumori, che si possono distinguere in *rumori vascolari* ed in *rumori cardiaci*. Incominciamo dai vascolari.

Per mezzo di esperimenti fatti sullo scolo dei liquidi nei tubi si è dimostrato, che basta aumentare convenientemente la rapidità della corrente per far nascere un rumore, il quale al contrario si può far cessare diminuendo sufficientemente la velocità del flusso. Le condizioni poi più favorevoli alla produzione dei rumori per mezzo del movimento dei liquidi sono le seguenti: 1° il liquido deve avere una grande fluidità: 2° le pareti del tubo, in cui succede lo scolo, debbono essere sottili: 3° il tubo suddetto deve avere un notevole diametro: 4° la superficie interna di esso deve presentare delle scabrosità: 5° i rumori più facilmente nascono nei tubi flessibili, ad esempio di gutta-perca, che nei rigidi, come quelli di vetro o di metallo: 6° in fine le variazioni che avvengono nel letto della corrente, sia nella sua larghezza sia nella sua direzione sono molto adatte a generare vibrazioni sonore, specialmente quando il liquido in un tratto passa da un punto ristretto ad uno largo, e più ancora allorchè la corrente, entrando nella parte più ampia, piuttosto che seguire l'asse del tubo, prende una direzione obliqua e va a battere contro le pareti del tubo stesso. Ciò notato, diciamo, che il sangue nelle condizioni normali percorre i sistemi arterioso e venoso in silenzio; ma sotto l'influenza di alcuni stati morbosi emette dei rumori, che, generalmente parlando, hanno per causa cambiamenti avvenuti nel letto della corrente. Ad esempio spesso si sentono dei soffi nella vena jugulare specialmente negli individui affetti da cloro-anemia; si hanno dei sibili sincroni alle sistole dei ventricoli, allorchè vi sono tumori aneurismatici. Secondo Th. Weber i rumori vascolari non proverrebbero da vibrazioni del sangue; ma avrebbero per causa le vibrazioni generate nei vasi dallo sfregamento, che la corrente sanguigna esercita sulle pareti interne dei medesimi. Al contrario l'olandese Heynsius ripone l'origine dei suddetti rumori nel sangue stesso, ammettendo, che, formandosi dei vortici di sangue ove il vaso si dilata, le molecole sanguigne si urtino tra di loro, e diano causa a vibrazioni sonore, che poi si trasmettono alle pareti dei vasi. Ritiene però con Weber, che la presenza della scabrosità nell'interno dei vasi sia favorevole alla produzione dei rumori.

Questa influenza delle scabrosità dei vasi sanguigni non è ammessa da Chauveau, il quale attribuisce i rumori alle vibrazioni di una vena liquida, che ha luogo quando il sangue con una sufficiente velocità penetra in una parte più larga. Non può dirsi decisa la

questione e forse tutte queste diverse cause influiscono alla produzione del fenomeno.

Passiamo ai rumori del cuore. Si è altrove (127) detto, che le orecchiette del cuore sono separate dai ventricoli per le valvole, le quali si chiudono nella sistole dei ventricoli stessi, e che l'aorta e l'arteria polmonale sono nella loro imboccatura fornite di un sistema di valvole dette sigmoidi, le quali si chiudono nell'atto della diastole. Nell'atto della chiusura delle suddette valvole, il sangue batte contro di esse, e le mette in vibrazione, dando origine ad un rumore. Invero posto l'orecchio al petto di fronte al cuore, si sentono due rumori successivi, i quali si ripetono tante volte quante sono le battute del polso. Il primo rumore, o *rumore sistolico* è dovuto alla chiusura delle valvole auricolo-ventricolari; il secondo o *rumore diastolico* è causato dalle valvole sigmoidi: il primo sembra prodursi più profondamente, coincide colla battuta del cuore, e si sente meglio tra la quarta e quinta costa sinistra, cinque centimetri sopra al punto battuto dal cuore: il secondo rumore segue la pulsazione arteriale, e si ascolta meglio al disopra della terza costa a sinistra dello sterno. È importante il conoscere il ritmo o cadenza dei rumori cardiaci. Se si divide in tre parti eguali il tempo, che passa tra due sistoli ventricolari consecutive, si verifica, che il primo rumore dura un poco meno del primo terzo, poi segue un silenzio eguale alla metà del secondo terzo; segue quindi il secondo rumore, che dura l'altra metà del secondo terzo, e dopo ha luogo un silenzio che dura un poco più dell'ultimo terzo. Abbiamo detto, che la chiusura delle valvole auricolo-ventricolari produce vibrazioni, che si comunicano alle pareti del cuore; nel medesimo tempo però la contrazione delle fibre muscolari dei ventricoli dà luogo alla formazione di vibrazioni sonore. Il primo rumore adunque invece di doversi totalmente ripetere dalla chiusura delle valvole, deve riguardarsi come un rumore *rotatorio*, di cui si farà parola nel seguente paragrafo, al quale si aggiunge quello nato dalla chiusura delle valvole. È per questo che il rumore sistolico presenta un carattere musicale più distinto di quello del diastolico, il quale appartiene piuttosto alla categoria dei rumori istantanei. Allorquando l'una o l'altra delle valvole o auricolo-ventricolari o sigmoidi non chiude perfettamente l'orifizio, che le corrisponde, essa è continuamente sfregata dal sangue, il quale segue a passare per quell'orifizio; per la qual cosa la valvola continuamente vibra, emettendo un rumore continuo, che ora è un soffio, ora un rullo, ora un rantolo ecc. Quando adunque un rumore normale del cuore è accompagnato da questo rumore continuo, od in questo totalmente si trasmuta, si può conchiudere, esistere alterazioni morbose aventi sede nelle valvole, ad esempio insufficienza valvolare, ristringimento degli orifizi ecc.

290. Rumori di contrazione muscolare. — Allorchè un muscolo si contrae, fa sentire un suono, che dura tanto, quanto l'atto stesso della contrazione: a tale rumore dassi il nome improprio di *rumore rotatorio*. Il tono di questo è determinato dal numero delle eccitazioni nervose, le quali fanno nascere le contrazioni: imperocchè un muscolo in una unità di tempo eseguisce un

numero di vibrazioni eguale a quello degli eccitamenti motori trasmessi ad esso dal sistema nervoso, o da correnti elettriche. Questo fatto generale perfettamente verificato da Helmholtz servirà forse a far conoscere dal tono del rumore rotatorio i turbamenti avvenuti nell'innervazione d'un organo. Collongues ha dato il nome di *dinamoscopia* all'ascoltazione applicata al rumore rotatorio.

291. Stetoscopio. — È utile spesso per ben limitare i rumori e per ascoltare le parti, sulle quali difficilmente si può applicare l'orecchio, di usare dello *stetoscopio*, che consiste in un tubo di legno, a cui si dà la forma di un cilindro cavo di un centimetro circa di diametro, terminante nella sua parte inferiore in una specie d'imbuto largo tre o quattro centimetri, e nella parte superiore in un dischetto di legno forato nel mezzo. Si applica la parte aperta dell'imbuto sul tratto del corpo, che si vuole ascoltare, e l'orecchio al centro del disco. Propone Fick la soppressione di questo disco, e vuole invece, che si affili leggermente questo estremo del tubo, onde possa introdursi nel condotto uditivo. In tal modo le onde sonore propagate per il tubo solido e per l'aria in esso contenuta arrivano più sicuramente alla membrana del timpano.

Kœnig ha costruito uno stetoscopio assai pregevole, perchè con esso si fa l'ascoltazione con grande comodità, potendo il medico stare ad una certa distanza dal malato, il quale non è obbligato di rimanere scoperto, in modo che può prolungarsi l'ascoltazione senza che l'infermo ne risenta alcun incomodo. Due lamine di caucciù fisse all'orlo circolare B (fig. 168) di un emisfero cavo A di metallo possono essere gonfiate con aria per mezzo di un tubo a rubinetto *r* cosicchè vadano a formare una lente biconvessa. Un tubo di caucciù *s*, il quale termina in un'imboccatura di avorio *t*, è annesso ad una tubulatura, di cui è munito l'emisfero. Si applica la lente piena d'aria sulla parte da esplorarsi, e s'introduce l'imboccatura nell'orecchio. S'intendono in tal modo perfettamente i rumori della circolazione e della respirazione, i quali si comunicano all'aria della lente, e da questa a quella, che empie l'emisfero, il tubo ed il condotto uditivo. Con questo stetoscopio può ciascuno fare esperimenti d'ascoltazione sopra se stesso.

292. Otoscopio. — Toynbee per ascoltare alcuni suoni, che possono prodursi nell'interno d'un orecchio ammalato, ha ideato un apparatino detto *otoscopio*. Altro non è questo che un tubo acustico (227), il quale termina ad imbuto in ambedue le sue estremità. Il medico introduce uno dei due imbuti nell'orecchio, che vuole esplorare, e l'altro nell'orecchio suo.

ELETTROLOGIA

CAPO I.

PRIME NOZIONI SULLA ELETTRICITÀ

293. *Primi studi sull'elettricità* — 294. *Corpi cattivi e buoni conduttori* — 295. *Diversità di fenomeni presentati da una macchina a disco di cristallo e da un'altra a globo di zolfo* — 296. *Teoria di Simmer* — 297. *Teoria di Franklin* — 298. *Contemporaneo svolgimento delle due elettricità* — 299. *Elettrometri.*

293. Primi studi sull'elettricità. — Si conosceva, 600 anni prima dell'êra volgare, che l'ambra, la quale in greco si dice *electron*, quando sia stropicciata viene ad acquistare la proprietà d'attrarre i leggeri corpuscoli, come ad es. le piume, le foglioline d'oro, ecc. Alla detta proprietà si pose il nome di *elettricità*. Per il lasso di molti secoli questa non fu reputata degna dello studio del fisico, poichè nessuno sospettava, che la causa di sì piccolo ed insignificante fenomeno fosse quella stessa, che produce la terribile meteora del fulmine. L'elettricità si cominciò a studiare nel secolo XVII, allorchè l'inglese medico Gilbert si avvide, che l'attrazione elettrica si esercitava dallo zolfo, dal vetro, dalla ceralacca e da molte altre sostanze, che abbiano subìto un attrito. Fu nel 1709, che Ottone Gueriche ideò la prima macchina elettrica, la quale consisteva in un globo di zolfo, che essendo attraversato da un asse e sostenuto da un montante di legno, poteva farsi girare intorno al detto asse per mezzo di un manubrio. Nell'atto in cui il globo ruotava, una mano dello sperimentatore posta a contatto della superficie di quello vi produceva l'attrito, per cui la sfera di zolfo si elettrizzava. Hawkbee sostituì di poi allo zolfo un globo di vetro e cuscinetti di cuoio alla mano. Ai fenomeni elettrici si assegnò per causa un fluido imponderabile sparso per tutti i corpi il cui equilibrio viene turbato per l'attrito, ed allora si producono i detti fenomeni.

294. Corpi cattivi e buoni conduttori. — Ritenevasi anticamente che l'elettricità non potesse coll'attrito svolgersi in tutte le sostanze, ma solamente in alcune; imperocchè stropicciato, ad esempio, un cilindro metallico tenuto in mano, non si scorgono in esso i fenomeni elettrici, i quali al contrario subito si osservano se il corpo sfregato è un cilindro di vetro. Da ciò venne la distinzione dei corpi in *idioelettrici*, ossia elettrizzabili, ed in *anelettrici*, cioè non elettrizzabili. Presto però si avvidero i fisici tale distin-

zione essere erronea, perchè se le sostanze chiamate anelettriche non si addimostrano elettrizzate dopo l'attrito, ciò avviene non perchè non si sia in esse eccitata l'elettricità, ma perchè non si trovano in circostanze opportune a conservarla. Vaglia il vero, se invece di tenere il cilindro metallico immediatamente in mano, si tenga per mezzo d'un manico di cristallo, e poi si sfreghi, si vedrà dare esso manifesti segni d'elettricità. Tutti i corpi adunque coll'attrito si elettrizzano, ma non tutti nel medesimo modo. In vero, molte sostanze non acquistano il potere elettrico che nella sola parte, la quale ha subito l'attrito, e se dopo essere state elettrizzate in tutta la loro superficie, si toccano, o si stabilisce qualunque altra comunicazione tra esse ed il terreno, che si suol chiamare il *serbatoio comune dell'elettricità*, non perdono il potere elettrico se non nel solo punto di contatto. Viceversa in altri corpi si osserva, che se succede l'attrito in qualche loro parte, non solo si elettrizza la parte sfregata, ma tutta la loro superficie, e se dopo essere stati elettrizzati tutti si tocchino in un solo loro punto, perdono il potere elettrico in tutta la loro estensione. Si disse pertanto che i primi godono della proprietà di non fare scorrere l'elettrico per la loro superficie, ma di tenerlo fermo nella parte, ove l'attrito lo ha eccitato, mentre i secondi lo lasciano con tutta facilità scorrere da una parte all'altra. Si dette quindi ai corpi della seconda specie il nome di *buoni conduttori* o *deferenti*, ed a quelli della prima il nome di *cattivi conduttori* o *coibenti*, od anche d'*isolanti*, perchè servono ad isolare le sostanze deferenti dal terreno, affinchè non abbiano a perdere l'acquistato fluido elettrico, facendolo diffondere nel suolo. I corpi isolanti corrispondono agli idioelettrici, i deferenti agli anelettrici. Sono coibenti il vetro e tutti i corpi vitrei, gli ossidi metallici, le gemme, le pietre dure, lo zolfo, l'aria secca, le resine, la cera di Spagna, l'ambra, la carta, il cotone, lo zuccaro, il legno seccato al forno, gli olii, la lana, la seta, i capelli, le piume. Nella classe dei buoni conduttori si noverano i metalli, l'acqua e tutti i liquidi non oleosi, gli animali, le piante viventi, il fumo, il vapore dell'acqua, la neve, ecc. Vi sono ancora sostanze semiconduttrici, cioè fornite di debole conduttricità, e tali sono le pietre, i marmi, l'alabastro.

295. Diversità di fenomeni presentati da due macchine, una a disco di vetro e l'altra a globo di zolfo. — Vedremo in seguito (320) che nelle attuali macchine elettriche i fenomeni non si osservano nel globo di zolfo, o nel disco di cristallo, ma nel cosidetto *conduttore*, ossia in un cilindro metallico sostenuto in posizione orizzontale da piedi di cristallo, e che rivolge molte punte al globo od al disco. Ciò posto asseriamo, che una macchina a disco di vetro presenta alcuni fenomeni diversi da quelli che sono dati dalla macchina a globo di zolfo. Infatti sull'estremo di ciascuno dei due conduttori si pianti una punta metallica non molto acuminata, e si facciano agire ambedue le macchine nell'oscurità. Si vedrà che la punta posta nell'estremo del conduttore della macchina a disco di cristallo è munita di un bel fiocco di luce, mentre le punte rivolte al disco presentano bril-

lanti punti luminosi. Il contrario fenomeno si scorge nella macchina a zolfo, poichè la punta che sta all'estremo del suo conduttore è fornita della luminosa stelletta, e le punte rivolte al globo presentano fiocchi di luce. Oltre a questa diversità i due apparati ne offrono un'altra ben notevole. Se si appressa alla macchina a disco di vetro un globettino appeso a filo di seta, questo rimane tosto attratto dal conduttore, ma appena lo ha toccato, ne rimane costantemente respinto. La medesima attrazione e successiva ripulsione avverranno parimente in un pendolino appressato alla macchina a globo di zolfo. Ma se il globetto respinto dal primo apparato si appressa al secondo e viceversa, si scorge che invece della ripulsione ha luogo un'attrazione: vale a dire ciò che è respinto da una macchina è attratto dall'altra. Parimente avvicinati due pendolini ad una medesima macchina, sono ambedue attratti e poi respinti, e se quindi si avvicinino tra di loro si respingono a vicenda: ma al contrario nasce attrazione fra di essi se uno ha avuto contatto con una delle due macchine, l'altro coll'altra. Da tutto ciò si può dedurre non essere eguale lo stato elettrico delle due macchine; ma si può anche dimostrare che lo stato elettrico dell'una è del tutto contrario a quello dell'altra, con un antico esperimento fatto fin dal 1752 da Kinnersley a Boston per suggerimento di Franklin. Se lo stato elettrico delle due suddette macchine non fosse del tutto opposto, è chiaro che facendo comunicare assieme i due conduttori e facendo agire le due macchine contemporaneamente, si dovrebbero manifestare od effetti più energici od almeno effetti di eguale intensità di quelli osservati separatamente in ciascuna macchina. Invece si trova, o che sono considerabilmente diminuiti in intensità quando le due macchine non hanno un'eguale attività, o che i fenomeni svaniscono del tutto allorchè si regoli il moto dei corpi stropicciati in guisa che le due macchine, se fossero separate, darebbero effetti d'intensità eguale. Adunque è necessario conchiudere che i due stati elettrici delle suddette macchine non solo sono diversi, ma contrari.

296. Teoria di Simmer. — A spiegare tale contrarietà di fenomeni ammise Simmer l'esistenza di due fluidi imponderabili elettrici, uno dei quali chiamò *vitreo*, perchè si mostra nelle sostanze vitree e l'altro *resinoso*, perchè di esso si caricano i corpi resinosi. Questi due fluidi combinati insieme formano un fluido elettrico *neutro* che trovasi diffuso in tutti i corpi senza dare alcun segno di se. Quando però o per l'attrito o per un'altra causa qualunque venga un fluido separato dall'altro, rimanendo uno dei due isolato in un corpo, allora è che questo mostrasi elettrizzato, ed i fenomeni elettrici nascono dallo sforzo che esercita il fluido rimasto per unirsi a quello di nome contrario. Le molecole elettriche dello stesso nome si respingono, quelle dei due contrari fluidi si attraggono. Se pertanto si giri il disco di vetro d'una macchina, in esso disco e nell'annesso conduttore si accumula l'elettricità vitrea. Si appressi a questa macchina un globettino appeso ad un filo di materia coibente, il quale pendolo, come ogni altro corpo, è carico di fluido neutro. L'elettrico vitreo del conduttore, respingendo il vitreo del pendolo ed attirando il

resinoso, decomporrà il fluido neutro di questo, obbligando l'elettricità resinosa a porsi nella parte più vicina al conduttore, e la vitrea nella parte più lontana. Dopo ciò l'attrazione del fluido del conduttore sul fluido contrario del pendolo sarà maggiore della ripulsione che si esercita tra il detto fluido della macchina e quello dell'istesso nome, che è nel pendolo, perchè, come vedremo (300), l'intensità di queste forze è nella ragione inversa dei quadrati delle distanze. L'attrazione pertanto, riportando vittoria sulla ripulsione, obbligherà il pendolo a portarsi verso il conduttore. Avvenuto il contatto di quello con questo, una quantità di elettricità vitrea passa dal conduttore al pendolo, la quale non solo neutralizza l'elettricità resinosa che vi trova, ma sovrabbonda e quindi il pendolo deve essere respinto dalla macchina, perchè i fluidi dello stesso nome si respingono; ma sarà bensì attratto dalla macchina a globo di zolfo, perchè qui si trova accumulato il fluido resinoso ed i fluidi di nome contrario si attraggono.

297. Teoria di Franklin. — L'americano Franklin ammise l'esistenza di un solo fluido elettrico, il quale secondo lui trovasi in una data proporzione in tutti i corpi diffuso, e che non fa mostra di alcun fenomeno elettrico nelle sostanze in cui esso conserva questa giusta proporzione. Accrescendosi però la quantità d'elettrico in un corpo, questo addiviene elettrizzato *per eccesso*, *positivamente* od *in più*, ed al contrario diminuendosi la quantità d'elettrico di un corpo, esso si mostra elettrizzato *per difetto*, *negativamente* od *in meno*. Tendendo il detto fluido ad equilibrarsi, i fenomeni nel primo caso nascono dalla tendenza che ha il fluido addensato ad escire dal corpo per invadere gli oggetti vicini, mentre i fenomeni che si osservano nel secondo caso nascono dallo sforzo esercitato dal fluido dei corpi circonvicini per andare in quello, in cui ve ne è difetto. Le molecole elettriche si respingono fra loro, ma sono attratte dalle molecole ponderabili dei corpi. L'elettricità vitrea di Simmer corrisponde allo stato elettrico positivo di Franklin, che si suole indicare col segno +: l'elettricità resinosa del primo corrisponde allo stato elettrico negativo del secondo, il quale stato negativo si suole esprimere col segno —. Si appressi il pendolino appeso ad un filo coibente ad un corpo elettrizzato in più; sarà esso attratto perchè il fluido elettrico attrae ed è attratto dalla materia ponderabile, la quale attrazione sarà più energica se al corpo elettrizzato per eccesso si avvicini un altro che lo sia per difetto. Che se il pendolino che trovasi allo stato naturale si presenti ad un corpo elettrizzato per difetto, rimane attratto ed è il fluido che naturalmente sta nel pendolino quello che è attratto ed attrae la materia ponderabile del corpo, che ne è sfornito. Due corpi poi ambedue elettrizzati positivamente si respingono, perchè, come abbiamo detto, le molecole del fluido elettrico a vicenda si respingono. Dove sembra rinvenirsi una qualche difficoltà è nello spiegare la ripulsione di due corpi ambedue elettrizzati negativamente, non apparendo chiara la causa di tale mutua ripulsione. Alcuni spiegano la cosa nel seguente modo. Siano N, P (fig. 169) due corpi elettrizzati per eccesso: il fluido accumulato in essi tenderà ad escire nella direzione indicata dalle frecce. Nello spazio frapposto ai due

corpi nascerà pertanto un agglomeramento di fluido elettrico, il quale sarà causa della ripulsione vicendevole dei due corpi. Che se i corpi N' P' siano elettrizzati in meno, sarà l'elettrico dei corpi circostanti quello che tende ad invadere N' P' nella direzione dalle frecce indicata, e per ciò anche in questo secondo caso nello spazio ai detti due corpi interposto vi sarà un addensamento di fluido elettrico che tenderà ad allontanarli fra loro. Altri fisici invece dicono la ripulsione fra due oggetti elettrizzati per difetto non essere che apparente. Se abbiasi, essi dicono, un solo pendolino elettrizzato in meno questo rimane immobile, perchè è egualmente attratto dal fluido elettrico dei corpi, che gli stanno da un lato, e da quello dei corpi che gli stanno dall'altro. Ma se due pendolini ambedue elettrizzati per difetto si trovano vicini, quello di destra è attratto dal fluido elettrico naturale dei corpi che gli stanno a destra, ed il pendolino di sinistra è attratto dal fluido dei corpi, che si trovano alla sua sinistra, onde i due pendoli si debbono fra di loro allontanare, quantunque fra di essi non vi sia vera ripulsione. La maggior parte dei fisici italiani seguono la teoria di Franklin, e meritamente, imperocchè potendosi coll'ammettere un solo fluido elettrico spiegare tutti i fenomeni, l'ammetterne due sarebbe un moltiplicare gli enti senza necessità. Quest'unico fluido elettrico poi, secondo molti, altro non sarebbe che l'etere (7, 15), il quale come col vibrare dà i fenomeni calorifici (492), ed i luminosi (734), così coll'addensarsi o diradarsi in un corpo produrebbe il duplice stato elettrico. Senza pronunciare definitivamente il parere sull'esistenza di uno o due fluidi, ordinariamente si sogliono dare ai due stati elettrici i nomi di *elettricità positiva* e di *elettricità negativa*, potendo ognuno a suo beneplacito sotto la prima denominazione intendere od il fluido vitreo di Simmer, o lo stato elettrico per eccesso di Franklin, e sotto l'altra denominazione l'elettricità resinosa del primo, o lo stato elettrico per difetto del secondo.

298. Contemporaneo svolgimento delle due elettricità. — Non può mai svolgersi un'elettricità senza che contemporaneamente si svolga l'altra, e mentre il corpo stropicciato prende uno stato elettrico, il corpo stropicciante ne prende l'opposto. Variando poi il corpo sfregante, può nel corpo stropicciato eccitarsi ora l'uno or l'altro stato. Le sostanze notate nella serie seguente sono disposte in modo che acquistano lo stato positivo quando siano strofinate da una qualunque delle seguenti, ma prendono lo stato negativo se sono stropicciate da una delle precedenti.

Pelle di gatto. — Pelle di coniglio. — Pelle di lepre. — Feltro. — Tormalina. — Vetro liscio. — Pannolano. — Piuma. — Legno. — Carta. — Seta. — Cera lacca. — Cera bianca. — Colofornio. — Zolfo. — Metalli. Se si sfregano tra loro due sostanze di egual natura, ad esempio due nastri di seta, non essendoci ragione per cui uno abbia ad elettrizzarsi in più e l'altro in meno, essi non si elettrizzano purchè pero siano perfettamente eguali nella qualità, finezza, colore, temperatura ecc.: imperciocchè dimostra l'esperienza, bastare una piccola diversità nella qualità dei due corpi, od anche un diverso trattamento nell'operazione per farli caricare uno in più, l'altro in meno. Infatti nel caso dei due nastri se lo sfregamento non è egualmente effettuato sopra ambedue, quello che è più

stropicciato prende lo stato negativo, l'altro il positivo. Ciò avviene quando un nastro si tiene fisso e l'altro posto ad angolo retto col primo si muove su e giù, come se si operasse colla sega. Il nastro che si muove prende l'elettricità positiva, e la parte dell'altro, la quale subisce un continuo attrito, prende la negativa. Se i due nastri sono bianchi e si strofinano l'uno contro l'altro longitudinalmente non si caricano; ma se uno di essi è tinto in nero, questo si elettrizza per difetto, l'altro per eccesso. Se l'attrito nasce fra due corpi di egual natura, ma che abbiano uno la superficie levigata e l'altro scabrosa, ha luogo l'elettrizzamento prendendo il primo lo stato positivo, il negativo il secondo, come può verificarsi stropicciando un vetro liscio con un altro scabroso. Si elettrizzano finalmente col mutuo attrito due corpi di egual sostanza, se hanno diversa temperatura, e l'elettricità negativa si rinverrà nel più caldo, la positiva nel più freddo.

299. Elettrometri. — Si è poco fa veduto che due corpi carichi di una medesima elettricità si respingono a vicenda. Su tale principio è fondata la costruzione degli *elettroscopii* od *elettrometri* i quali servono a manifestare se un corpo è o no elettrizzato, a misurare il grado di elettrizzamento, ed a far conoscere la natura dello stato elettrico. Il primo elettrometro fu ideato da Cavallo, e consiste in due pendolini formati da due globetti di midolla di sambuco attaccati a fili di lino, materia buona conduttrice. I due pendolini sono appesi all'estremità inferiore di una piccola asta di metallo, che termina nell'altro estremo in un bottone, il quale sporge al difuori di una campana di vetro avente nella sua sommità un foro, per cui penetra la dett'asta metallica, cosicchè la coppia dei pendolini trovasi dalla campana protetta contro l'agitazione dell'aria. Per vedere se un corpo è o no elettrizzato, basta toccare con esso il bulbo dell'elettrometro: allora se il corpo è carico di elettricità, il fluido si diffonde ai due pendoli, i quali respingendosi fra di loro, andranno a formare un angolo, dalla cui ampiezza si argomenta il grado della carica. Per conoscerne poi la natura, si stropiccia un cannello di ceralacca con un pannolano, caricandolo in tal modo di elettricità negativa, e quindi con esso si tocca il bottone dell'elettrometro. Se dopo questo contatto si aumenta l'angolo formato dai due pendoli, sarà segno che il corpo, con cui si è fatto il primo contatto, era carico negativamente, mentre l'elettricità di questo sarebbe stata positiva, quando il detto angolo avesse diminuito al tocco del cannello di ceralacca. I pendolini di midolla di sambuco, per quanto siano leggieri, hanno un peso, il quale oppone resistenza non disprezzabile al loro mutuo allontanamento. A render quindi più sensibile l'elettrometro, Bennet sostituì ai due globi due sottilissime foglie d'oro, le quali però facilmente si lacerano, allorchè è energica la ripulsione elettrica. Fu per questo motivo, che Volta alle foglie d'oro sostituì due leggerissime pagliucce. Il Prof. Volpicelli ha reso più sensibile questo apparato, ponendo fra le due paglie uno spillo metallico comunicante coll'asta. Passando l'elettrico anche a questo spillo, non solo le paglie si respingono tra di loro, ma anche lo spillo respinge da sè ciascuna di esse, e per conseguenza l'angolo formato da queste è maggiore.

CAPO II.

LEGGI DELLE ATTRAZIONI E RIPULSIONI ELETTRICHE

300. Leggi di Coulomb. — Coulomb ha dimostrato che relativamente alle attrazioni e ripulsioni elettriche hanno luogo queste due leggi: 1ª Le dette attrazioni e ripulsioni sono nella ragione inversa dei quadrati delle distanze, che separano i due corpi, i quali si attraggono o si respingono: 2ª Tali forze attrattive o ripulsive sono proporzionali al prodotto delle quantità di fluido elettrico, di cui sono carichi i due corpi.

301. Bilancia elettrica di torsione. — Le suddette leggi furono dal Coulomb dimostrate con un apparato da lui ideato, e che appellasi *bilancia elettrica di torsione*, perchè con esso si misurano le forze di attrazione e ripulsione equilibrandole colla forza elastica di torsione (10) di un filo metallico, il quale è, dentro a certi limiti, proporzionale all'arco, che verrebbe descritto da un indice appeso orizzontalmente all'estremo del filo suddetto. Tale apparecchio è così formato: FMG (fig. 170) è un recipiente cilindrico di cristallo, il cui coperchio ha nel suo centro un foro di diametro di 2 a 4 centimetri, dal quale s'innalza un tubo di cristallo da 20 a 30 centimetri di altezza. Alla sommità del tubo è fissato un disco di ottone, nel cui centro vi è un piccolo foro, per cui entra una verghetta girevole cilindrica dell'istesso metallo. A questa verga è annesso nell'esterno un indice *st* il quale scorre sul disco, e segna sull'orlo graduato l'angolo di rotazione della verga suddetta. Questa nell'estremità inferiore sostiene con una piccola morsa un sottile filo d'argento AL, il quale all'estremo inferiore tiene appesa orizzontalmente la verghetta IE di materia coibente, che termina da una parte in un globetto I di midolla di sambuco, e dall'altra con un corrispondente contrappeso. Dal foro O praticato nel coperchio del recipiente cilindrico s'introduce un globo P elettrizzato e sostenuto da manico di cristallo; il qual globo toccando il globetto I, gli comunica parte della sua elettricità, e per ciò l'obbliga ad allontanarsi. L'estremità I adunque della verghetta IE descriverà un arco sulla circonferenza graduata FG posta dentro al recipiente, e torcerà per conseguenza il filo. Dopo varie oscillazioni l'indice si ferma, e saremo certi che l'arco percorso dall'indice, e che misura la forza di torsione del filo, misura ancora la forza di ripulsione elettrica, la quale si è posta in equilibrio colla forza di torsione suddetta. Si supponga, che l'arco descritto dall'indice sia di 36°, e si voglia sapere, quale sarà la forza ripulsiva alla distanza, che sia la metà della presente,

ossia alla distanza di 18°. Bisognerà obbligare il globo I ad avvicinarsi a P per 18°; il che otterremo coll'aumentare la forza di torsione. Si gira pertanto la sfera superiore *s t* quanto è necessario per far avvicinare i due globi dell'indicato numero di gradi. Aggiungendo ai gradi, che separano i due globi, quelli percorsi dall'indice superiore, vedremo, che la torsione totale del filo è quattro volte maggiore della prima, ossia è di 144°. Parimente se si volesse portare il globo I ad un terzo della distanza primiera, bisognerebbe produrre una forza di torsione 9 volte più grande della prima ossia una torsione di 324°.

La seconda legge si verifica nel seguente modo. Quando la distanza dei due globi è di 18°, e la forza ripulsiva, come abbiamo veduto, è di 144°, si tocca il globo P con un altro globo isolato egualissimo ad esso. Con questo contatto si porta via a P la metà della carica elettrica, e perciò, avendo ridotto alla metà uno dei due fattori, sarà ridotto alla metà anche il prodotto delle cariche elettriche dei globi P, I. Se fatto ciò, vogliamo far rimanere i due globi alla medesima distanza di 18°, dovremo diminuire la forza di torsione, e si verificherà, che ad ottenere l'intento questa deve ridursi precisamente alla metà, ossia a 72°.

Si dimostra, aver luogo le due medesime leggi per le attrazioni col caricare le due palle P, I di elettricità contrarie, ed opponendo alla loro mutua attrazione la forza di torsione del filo metallico.

Perchè però tutti i suddetti esperimenti riescano esatti, è cosa essenziale il diseccare l'aria della bilancia, ponendo nell'interno dell'apparato un largo vaso di vetro contenente acido solforico concentrato.

302. Bilancia elettrica di Egen. — Egen ha verificato le due suddette leggi con un apparato assai più semplice. Un fusto di materia coibente d'una esattissima bilancia porta in un suo estremo invece del solito bacino un globo di sostanza deferente. Si comunichi a questa sfera una delle due elettricità, e l'altra si comunichi ad un altro consimile globo tenuto in mano per mezzo di un manico di cristallo. Questa seconda palla si tenga al disotto della prima ad una data distanza. Essa attirerà l'altra, ed il fusto s'inclinerà: ma ciò viene impedito col porre nel bacino, che sta nell'altro estremo del fusto, un proporzionato peso p. Se di poi si avvicinino i due globi in modo che la loro distanza sia ridotta alla metà, ad un terzo, ad un quarto della primiera, si vedrà, che per impedire l'inclinazione del fusto sono necessari pesi eguali a $4p$, $9p$, $16p$. Si avrebbe consimile risultato, se si comunicasse un'identica elettricità ai due bulbi, e quello, il quale si tiene in mano, si ponesse al disopra dell'altro. Per dimostrare poi la seconda legge, si dovrebbe operare in modo presso a poco simile a quello usato colla bilancia di Coulomb.

CAPO III.

DISTRIBUZIONE DELL'ELETTRICITÀ IN UN CORPO

---

303. *L'elettricità si porta alla superficie dei corpi* — 304. *Tensione elettrica* — 305. *Disuguale distribuzione dell'elettrico alla superficie di un corpo* — 306. *Proprietà delle punte di disperdere l'elettricità.*

303. L'elettricità si porta alla superficie dei corpi. — Beccaria prima di ogni altro dimostrò, che l'elettricità non invade la massa del corpo elettrizzato, ma solamente investe la sua superficie esterna. Ciò proviene da che un fluido elettrico respinge quello dello stesso nome. Se adunque uno di questi fluidi fosse diffuso nella massa d'un corpo conduttore, quella parte di elettrico che ne investe una porzione, respingerebbe l'altra, che trovasi nella parte opposta, e da questa sarebbe respinta, ond'esse due parti d'elettrico si allontanerebbero sempre più, finchè giunte alla superficie del corpo nei punti diametralmente opposti, ivi si fermerebbero trattenute dalla coibenza dell'aria. Tale verità si può dimostrare coi seguenti esperimenti. 1° Si abbia una sfera cava metallica a sottilissime pareti, e sostenuta da un piede coibente. Nella sommità di essa siavi un'apertura circolare. Elettrizzata la sfera col farla toccare col conduttore di una macchina elettrica, si cali entro di essa per il detto foro una pallina metallica sostenuta da un manico coibente, e si tocchino i varii punti della superficie interna. Estratto dopo ciò il globetto dalla sfera, e toccato con esso un elettrometro (299), non si avrà alcun segno di elettricità. 2° Abbiansi una sfera di ottone isolata sopra un piede di vetro, e due emisferi cavi parimente di ottone muniti di manichi di cristallo, e di diametro interno eguale a quello della sfera. Dopo avere elettrizzata quest'ultima, vi si adattino sopra le dette due calotte, tenendole per i manichi isolanti. Ritoltele rapidamente, si troveranno elettrizzate nella superficie esterna e nessun segno di elettricità si avrà più nella sfera. 3° Faraday fissò ad un cerchio isolato e verticale una piccola insacca di mussolina di forma conica, ed attaccò al vertice di esso cono due fili di seta uno nell'interno, e l'altro nell'esterno, cosicchè tirando or l'uno or l'altro si potesse a piacere rovesciare l'insacca. Elettrizzata la mussolina, si vide che solamente nella superficie esterna dava essa segni d'elettricità, la quale, rovesciata l'insacca, subito passava all'altra superficie, che per il detto rovesciamento addiveniva esterna.

304. Tensione elettrica. — La *tensione elettrica* è lo sforzo esercitato dall'elettricità per mettersi in equilibrio, il quale sforzo dipende dalla quantità d'elettrico che investe un dato spazio. Da ciò discende, che invadendo il fluido solamente la superficie esterna di un corpo, quanto minore sarà questa, tanto maggiore verrà ad essere la tensione dimostràta da una data quantità d'elettrico comunicata

ad esso corpo. Ciò si verifica col *verricello elettrico*, il quale consiste in un cilindro d'ottone sostenuto orizzontalmente da piedi di cristallo. L'estremo di una lunga fascia metallica assai flessibile sta fissato al cilindro, cosicchè facendo girare questo intorno al proprio asse per mezzo di un manubrio, la detta fascia si avvolge sul cilindro sopra se stessa, e torna a distendersi se si giri il cilindro in senso contrario. Comunica il cilindro con una palla metallica isolata, che è sormontata da un *elettrometro di Henley*, il quale è formato da una piccola colonna di materia conduttrice, che porta lateralmente annesso un quadrante di sostanza coibente, al cui centro sta attaccato un pendolino. Se si elettrizza la colonna, si elettrizzerà anche il pendolo, ed essendo per ciò questo respinto dalla colonna, andrà a notare i gradi di tensione sul quadrante. Si comunichi l'elettricità al cilindro: l'elettrometro ci farà conoscere, che collo svolgersi della fascia, siccome viene ad ampliarsi la superficie, in cui si diffonde l'elettricità, così scema la tensione, la quale torna ad aumentare, quando la fascia di nuovo si avvolge su se stessa.

305. Diseguale distribuzione dell'elettrico nelle superficie dei corpi. — Il fluido elettrico non egualmente si distribuisce in tutta la superficie di un corpo. Vaglia il vero, se si elettrizzi un conduttore cilindrico, e con un elettrometro si tocchino le varie sue parti, si vedrà che l'elettrico si accumula maggiormente ai suoi estremi. Se si elettrizzi un disco, l'accumulamento sarà massimo alla circonferenza. Ciò nasce da che, il fluido, che trovasi addensato nel corpo conduttore, tende ad escirne, e perciò corre verso agli estremi, dove è trattenuto dalla coibenza dell'aria. Mancando questi estremi alla superficie sferica, il fluido elettrico si distribuisce uniformemente in tutti i punti della medesima; ma se il corpo elettrizzato è un elissoide, il fluido si trova maggiormente addensato agli estremi dell'asse maggiore, e tanto più, quanto più grande è la differenza di lunghezza del semiasse maggiore, e del semiasse minore.

306. Proprietà delle punte di disperdere l'elettricità. — Se si pianti una punta di sostanza deferente sopra un corpo conduttore, e questo si elettrizzi, esso si scaricherà istantaneamente: onde si dice, che le punte hanno il potere di disperdere l'elettricità. Vediamo la ragione di ciò. Una punta può dirsi essere un semielissoide ad asse maggiore lunghissimo. L'elettricità adunque, secondo quello che poco fa si è detto, devesi molto condensare all'estremo dell'asse maggiore, ossia nella cuspide; per il che ivi tanto grande sarà la tensione, che vincendo la coibenza dell'aria, l'elettrico sfuggirà per la punta stessa.

CAPO IV.

INFLUENZA ELETTRICA

307. Fenomeni d'influenza elettrica. — L'elettricità accumulata in un corpo lo investe, per così dire, come una sottilissima tunica, la quale non eccede la superficie stessa del corpo conduttore. Se un secondo conduttore si collochi ad una piccola distanza dal primo, il fluido elettrico sotto forma di lucida scintilla passa da questo a quello. Lo spazio intorno al corpo elettrizzato, entro al quale posto un secondo corpo, questo riceve dal primo la scintilla, si suole chiamare *sfera di esplosione*. Ad una maggiore distanza non si comunica l'elettrico, ma pure vi giunge la sua attività, producendovi i fenomeni detti d'*influenza* o d'*induzione*, e lo spazio intorno al corpo elettrizzato, a cui si estende l'influenza, si appella *sfera di attività*. Descriviamo gli accennati fenomeni.

All'estremo del conduttore di una macchina elettrica, o vicino ad un corpo elettrizzato qualunque A (fig. 171), si ponga un cilindro orizzontale metallico ed isolato, che si suole appellare *conduttore secondario*, chiamandosi *conduttore primario* il corpo influenzante. Il conduttore secondario *ab* si trovi entro la sfera di attività del corpo A, ma non già dentro la sfera di esplosione, e porti appesi molti elettrometri di Cavallo (299). Questi daranno segni di elettricità, ma non tutti egualmente, poichè nei pendolini si osserva tanto maggiore divergenza, quanto più essi si trovano vicini agli estremi *a*, *b* del cilindro: uno degli elettrometri poi collocato verso il mezzo, ma più presso ad *a*, che a *b* non dà alcun segno di carica elettrica. Tal punto non carico di elettricità è mobile, avvicinandosi tanto più all'estremo *a*, quanto più si accostino tra di loro i due conduttori. Se con un bastoncino di ceralacca si sperimenti qual sia la natura dell'elettricità eccitata nel conduttore secondario, si vede che la parte *a* rivolta al primario è carica di fluido contrario all'inducente, mentre la parte *b* contiene fluido dello stesso nome. L'elettricità, che osservasi nel conduttore secondario, non gli viene somministrata dal primario, poichè 1° questo non subisce alcuna perdita di elettrico; 2° se tra i due conduttori si pone un qualunque corpo coibente, pure ha luogo il fenomeno; 3° se si porta il conduttore secondario, tenendolo per il piede isolante, fuori della sfera di attività dell'altro, in esso svaniscono tutti i segni di carica elettrica quan-

tunque non ne subisca alcuna perdita. Che se mentre *ab* si trova entro alla sfera d'attività di A, si stabilisce una momentanea comunicazione tra quello ed il serbatoio comune, si vedrà tosto sparire la divergenza dei pendolini in tutto il cilindro, e dopo ciò allontanato il conduttore dalla sfera di attività di A, si mostrerà carico in tutta la sua estensione di elettricità di nome contrario all'inducente.

308. Causa dei suddetti fenomeni. — I suddetti fenomeni così si sogliono spiegare. Trovandosi A carico di elettricità, supponiamo positiva, questa per mezzo della sua attività decompone l'elettrico neutro del conduttore secondario, attrae verso di sè l'elettricità negativa e respinge la positiva. Siccome però l'energia elettrica è nella ragione inversa dei quadrati delle distanze (300); deve essere più gagliarda l'attrazione, che la ripulsione, e per ciò il punto carico di elettricità neutra, e che separa la parte elettrizzata per eccesso da quella che lo è per difetto, non dovrà trovarsi nel mezzo preciso del conduttore secondario, ma più vicino all'estremo rivolto al corpo inducente. Portato il corpo indotto fuori della sfera di attività del conduttore primario, non vi è più la causa che in quello teneva separate le due elettricità; quindi queste si ricombinano, e per conseguenza cessano tutti i fenomeni elettrici. Ma se prima di un tale allontanamento si sarà stabilita una comunicazione tra il corpo influenzato ed il suolo, allora l'elettricità del nome stesso dell'inducente, e che è da questa respinta, si disperde nel serbatoio comune, e quindi allontanato il cilindro *ab* da A, l'elettricità di nome contrario dell'influenzante, non trovando più in esso cilindro l'elettrico opposto con cui ricombinarsi, si spanderà in tutto il conduttore secondario. Le due elettricità, che per influenza si eccitano in *ab*, si dicono *elettricità accidentali*, e di esse quella che investe la parte *b* si appella elettricità *attuata* o *di pressione* ed elettricità *indotta* quella che trovasi nella parte *a*.

309. Elettricità vincolata. — Ma abbiamo noi detto che collocato il secondario conduttore entro la sfera d'attività del primario, e portata via da quello l'elettricità di pressione, finchè esso rimane vicino al corpo influenzante non dà segni elettrici, quantunque vi rimanga l'elettrico indotto. Ciò avviene perchè quando nel conduttore secondario rimangono tutte due le elettricità accidentali quella che trovasi in *a* rimane attratta sebbene disugualmente e dal fluido inducente e da quello che trovasi in *b*: ma tolto via quest'ultimo non rimane più turbata l'attrazione che passa tra le elettricità inducente ed indotta, onde tale attrazione diviene così energica, che quantunque non avvenga la loro combinazione, perchè è impedita dalla coibenza dell'aria interposta, pure si tengono così fra di loro attratte, come se realmente si fossero neutralizzate, e quindi non dànno più segni di sè nell'elettrometro, nè si disperdono nel terreno quando gli si apre la via, nè passano agli altri corpi sotto forma di scintilla: in una parola non hanno più tensione. All'elettrico, che per tal motivo non fa più mostra di sè, si suol dare il nome di elettricità *dissimulata* o *vincolata*.

310. Esperimenti di Melloni e Volpicelli. — Secondo la esposta teoria le due elettricità accidentali rimarrebbero totalmente separate nel conduttore secondario, investendo l'indotta la parte

più vicina al conduttore primario, e l'attuata la parte più lontana. Inoltre le due elettricità rimarrebbero libere, e solo l'indotta verrebbe a vincolarsi quando l'attuata è portata via. Secondo il Melloni ed il Volpicelli le cose avverrebbero diversamente. Eccitate le due elettricità accidentali, l'indotta non si troverebbe solamente nella parte *a* del conduttore secondario, ma in tutta l'estensione di esso, però con maggiore intensità in *a*, con minore in *b*: anche l'attuata sarebbe diffusa in tutto il corpo ma più intensamente in *b* che in *a*. Di più l'elettricità indotta non si troverebbe mai allo stato libero, ma sarebbe vincolata anche allorquando nel conduttore esiste l'elettricità di pressione. Ciò Volpicelli sostiene con molti esperimenti, in cui per corpo influente si assume un grosso cilindro di ceralacca, onde la coibenza di questo impedisca, che anche una piccola parte di fluido si comunichi al conduttore secondario. Il Volpicelli pone ancora tra il corpo inducente e l'indotto una lamina metallica comunicante col suolo, ed avente nel mezzo un foro nel quale si affaccia il conduttore secondario, e ciò perchè l'influenza non si eserciti sull'elettrometro col quale si esamina la natura delle elettricità accidentali. Secondo questi esperimenti, stabilita una comunicazione tra il suolo e la parte *a* del conduttore secondario, sempre si disperde l'elettricità di pressione e non mai l'indotta, per cui il suddetto chiarissimo Volpicelli conchiude che la prima è sparsa in tutto il conduttore e la seconda è sempre vincolata. Non credo dovere entrare in altri dettagli su questa nuova teoria perchè non è ancora abbracciata da tutti i fisici.

311. Polarizzazione dei coibenti. — Si domanda se l'induzione agisca immediatamente o mediatamente sul conduttore secondario, ossia si vuol sapere se l'attività del fluido inducente si eserciti direttamente sul fluido naturale di esso conduttore secondario senza produrre alcun'alterazione su quello del coibente interposto ai due conduttori; ovvero l'attività del fluido inducente operi immediatamente sul fluido neutro del coibente, e questo sul fluido del conduttore secondario. Osservò Faraday che variato il coibente il quale separa i due conduttori, si viene anche a variare l'intensità delle elettricità accidentali svolte nel conduttore secondario, onde conchiuse che essi coibenti non sono del tutto passivi nell'induzione, ma vi esercitano una parte attiva; per il che deve dirsi l'induzione non essere un'azione immediata ma mediata. Chiamò poi *dielettrici* quei coibenti attraverso dei quali bene si trasmette l'influenza elettrica. Per intendere qual sia secondo Faraday quest'azione mediata s'immagini di avere (fig. 172) un numero qualunque di conduttori isolati A, B... disposti l'uno di seguito all'altro ed a tale distanza che non possa l'elettricità passare dall'uno all'altro sotto forma di scintilla quando il primo A sia elettrizzato per influenza del conduttore primario M. Essendo M elettrizzato positivamente, agirà per influenza sul conduttore A, decomporrà il fluido neutro di questo attirando il fluido negativo in *m* e respingendo in *n* il positivo. Quest'ultimo farà da inducente relativamente all'elettricità naturale di B il quale rimarrà elettrizzato in meno nella parte *m'* ed in più nella parte *n'*. Egualmente avverrà negli altri conduttori fino all'ultimo, che mostrerà alla sua parte estrema

l'elettrico omologo a quello del conduttore primario M. Alla fila dei corpi deferenti isolati A, B..... s'immagini sostituito un coibente continuo, ad esempio uno strato d'aria, un cilindro di vetro o di zolfo: ciascuno strato di questo corpo potrà considerarsi come un piccolo conduttore separato dagli altri, perchè per la coibenza del corpo non può il fluido elettrico passare da uno strato all'altro. L'elettricità adunque del conduttore primario ecciterà le due elettricità accidentali nel primo strato del coibente che gli sta a contatto; l'elettricità di pressione di questo produrrà l'istesso effetto sul fluido neutro del secondo strato, ed il medesimo effetto si rinnoverà di strato in strato, cosicchè nella superficie esterna dell'ultimo mostrerassi l'elettricità attuata omonima dell'inducente, la quale elettricità attuata eserciterà la sua influenza nel conduttore a cui sta a contatto. Si suol dire che il coibente si è elettricamente *polarizzato*.

Chiamando con 1 il potere dielettrico dell'atmosfera, quello di altre sostanze si è trovato come appresso:

Aria	1,00
Flint	1,76
Resina.	1,77
Pece	1,80
Cera gialla	1,86
Vetro	1,90
Gommalacca	2,00
Zolfo	2,24.

312. Spiegazione di alcuni fenomeni. — Sarà ora cosa facile spiegare alcuni fenomeni. Dispongansi sopra ad un piano due pendolini, uno a filo coibente, l'altro a filo conduttore e comunicante col suolo: ad egual distanza fra le palline si mette un bastone di ceralacca precedentemente stropicciato, e per ciò elettrizzato negativamente. Noi vedremo, che il pendolo non isolato è vivamente attratto dal detto bastone, mentre l'altro è di poco deviato dalla verticale. Ecco la ragione di tale differenza. Il pendolo che comunica col suolo, si trova per influenza tutto carico di elettricità positiva, essendosi la negativa tutta dispersa nel serbatoio comune, e per questo esso pendolo sarà energicamente attratto dalla ceralacca, perchè nulla si oppone all'attrazione delle due contrarie elettricità. Al contrario sul pendolo isolato rimangono ambedue le elettricità accidentali, occupando la positiva la parte più vicina al corpo influenzante, e la negativa la parte più lontana. Per la qual cosa, come abbiamo notato altrove (296), tra il cannello di ceralacca ed il pendolo vi è attrazione e ripulsione, ma la prima supera la seconda, perchè si esercita a minore distanza, ond'è che il pendolo deve accostarsi al cannello, ma lentamente, essendo l'attrazione indebolita dalla ripulsione. In secondo luogo se al bulbo di un elettrometro (299) di Volta si avvicini un corpo elettrizzato senza toccarlo, le paglie immediatamente divergono, e se allora si tocchi con un dito il bottone, cessa la divergenza, la quale torna subito ad apparire, quando si allontani il corpo elettrizzato. Succede ciò perchè questo corpo agisce per influenza sul fluido dell'elettro-

metro, attira sul bottone l'elettricità di nome contrario alla sua e respinge quella dello stesso nome, che va a far divergere le paglie. Toccando col dito il bottone, si porta via l'elettricità di pressione, e l'indotta resta vincolata, per il che deve cessare la divergenza delle paglie, la quale ricomparirà di nuovo, quando per l'allontanamento del corpo inducente, l'elettricità indotta torna ad essere libera.

313. Potere delle punte di assorbire l'elettricità. — Abbiamo veduto (306) che le punte hanno la proprietà di disperdere l'elettricità, cosicchè piantata una punta su di un corpo elettrizzato, questo immediatamente si scarica. Ma si tenga in mano una punta metallica, e si presenti la cuspide di questa anche a notevole distanza ad un corpo elettrizzato: anche in questo secondo caso esso corpo si scarica immediatamente; onde si suol dire che le punte oltre al potere di disperdere l'elettricità posseggono quello di assorbirla. Tale assorbimento però non ha veramente luogo, e lo scaricarsi del corpo avviene da che il fluido elettrico di questo per influenza decompone l'elettricità neutra della punta e del sostegno: l'elettricità di pressione si disperde nel suolo, e l'indotta si accumula nella cuspide, ove prende una tale tensione, che vincendo la coibenza dell'aria, se ne fugge, va al corpo influenzante, ed unendosi al fluido ivi diffuso, lo neutralizza, e per ciò il corpo si scarica.

314. Scintilla elettrica. — La scintilla elettrica, linea luminosa accompagnata da scoppio, si produce tutte le volte, che le due opposte elettricità si riuniscono per riformare il fluido neutro. Elettrizzato un cilindro di vetro, si avvicini ad esso nell' oscurità un dito: questo riceverà una piccola scintilla accompagnata da debole scoppio. Se il corpo elettrizzato è in grande tensione, come avviene nei conduttori delle macchine elettriche, si hanno scintille molto più lunghe e per lo più serpeggianti come il lampo, e lo scoppio è assai più intenso. La ragione del fenomeno è la seguente: il corpo elettrizzato agisce per influenza sul fluido neutro del corpo, che gli si avvicina: respinge l' elettrico omonimo al suo, che si disperde nel terreno, ed attiva nella parte a sè più vicina quello di contrario nome. Quando l'aria frapposta colla sua coibenza non è più valevole a tenere separate le due elettricità, queste si riuniscono, e tale riunione si manifesta colla scintilla sorgente di calorico e luce. L'elettricità, uscendo dai corpi, squarcia l'aria, la quale vibrando produce lo scoppio, e la resistenza dell'aria, che si addensa nella direzione verso cui procede la scintilla, la fa deviare, e per ciò è causa del serpeggiare di questa. Che se il passaggio dell'elettricità nell' aria succede in forma di scintilla lineare, nel vuoto si mostra sotto forma di una larga fascia violacea. L'esperimento si fa con un tubo di vetro munito ai due estremi di guarniture metalliche. Adattato questo sulla macchina pneumatica, si pone la guarnitura superiore in comunicazione con una macchina elettrica, l'inferiore col suolo. Fatto il vuoto nel tubo, e fatta agire la macchina elettrica nell'oscurità, si vede nell'interno del tubo un flusso continuo di elettrico di color violaceo. Si osserva poi, che durante questa disposizione di cose, la macchina rimane sempre

scarica, ma tosto si carica e cessa il flusso elettrico quando si fa rientrare l'aria nel tubo. Questo esperimento adunque dimostra, che è la presenza dell'aria atmosferica quella che impedisce la partenza del fluido imponderabile da un corpo elettrizzato.

315. L'elettrico non si propaga nel vuoto assoluto. — L'esperimento ora descritto non si fa nel vuoto assoluto, poichè sappiamo (190), che colla macchina pneumatica un tal vuoto perfetto non è possibile ad ottenersi. Ora se l'aria al suo stato normale impedisce la partenza dell'elettrico colla sua coibenza, la piccola quantità rimastane nel tubo è necessaria per fare disperdere l'elettrico; facendogli da conduttore. Difatti Gassiot prima d'ogni altro si è accorto, che in un tubo di vetro, in cui siasi fatto il vuoto più perfetto possibile, l'elettricità non passa, che con grande difficoltà. Alvergniat colla macchina pneumatica a mercurio (194) ha fatto il vuoto in un tubo di vetro munito di fili di platino mantenuti in incandescenza, affinchè seguitassero a consumare l'ossigeno rimasto, rendendo così più perfetto il vuoto. Mentre gli estremi s, f (fig. 173) dei detti fili nell'interno del tubo stavano vicinissimi, due altre punte metalliche x, y nell'esterno erano a notevole distanza fra di loro. Fatto comunicare il filo v con una macchina elettrica, ed il filo z col suolo, ha veduto Alvergniat, che non aveva affatto luogo il flusso elettrico nell'interno del tubo, ma piuttosto l'elettricità passava sotto forma di frequenti scintille fra le punte x, y: onde conchiuse, doversi dire almeno cosa assai probabile, che l'elettricità per portarsi da un punto ad un altro ha bisogno di materia ponderabile sparsa nello spazio frapposto.

316. Effetti calorifici della scintilla elettrica. — Gli effetti della scintilla elettrica si distinguono in *calorifici* e *chimici*: parliamo ora dei primi. La scintilla produce un aumento di temperatura ed è per questo, che essa è spesso impiegata ad incendiare le mescolanze combustibili dei gas, nel che fare agisce, come agirebbe un corpo qualunque arroventato. Tale è l'esperimento che fassi colla *pistola di Volta*, la quale è un vaso metallico ad erte pareti, che si empie di una mescolanza di idrogeno e di ossigeno, ovvero di idrogeno e di aria atmosferica, e che si chiude forzatamente con un turacciolo di sovero. Un filo metallico coperto di una sostanza coibente penetra in un forellino praticato nella parete della pistola, e presenta una pallina di fronte alla parete opposta. Fatta scoccare una scintilla elettrica tra la pallina e la parete, questa attraversando la mescolanza gasosa, fa che l'idrogeno e l'ossigeno si combinino e formino acqua, la quale per l'alta temperatura prodotta dalla scintilla si cambia in vapore, la cui tensione spinge via il turacciolo, producendo una forte detonazione.

317. Eudiometro a mercurio. — Si chiamano *eudiometri* alcuni vasi chiusi, entro cui colla scintilla elettrica si determina la combustione di alcune mescolanze gasose, e conseguentemente la loro combinazione. L'eudiometro a mercurio (fig. 174) è una campana di cristallo ad erte pareti, che nella sommità ed in un lato ha due fori, per i quali vi penetrano due aste metalliche a, b, che hanno gli estremi interni assai vicini tra di loro. Essendo la campana piena di mercurio, si capovolge e s'immerge colla bocca in un recipiente

pieno del medesimo metallo. Si fanno quindi passare in essa un volume di ossigeno e due d'idrogeno, che empiano la campana stessa, discacciandone il mercurio. Allora si chiude la sua bocca con un turacciolo avente una valvola *f*, che si apre dal basso in alto. Si mette l'asticella *b* in comunicazione col suolo, e si tocca *a* con un corpo elettrizzato. Tosto scocca una scintilla tra *a*, *b*, i due gas si combinano, e si deposita sulla superficie interna della campana un leggiero strato di rugiada. Essendosi formato nell'interno una specie di vuoto, il mercurio solleva la valvola *f* e penetra nell'eudiometro.

318. Eudiometro ad acqua. — L'*eudiometro ad acqua* si compone di un tubo di vetro CB (fig. 175), a ciascun estremo del quale s'unisce con mastice una guarnitura metallica munita di un robinetto e di un imbuto. La guarnitura superiore ha un foro laterale C, che è attraversato da un tubo di vetro contenente una piccola asta metallica *do*, che all'esterno termina con un bottone metallico, ed all'interno è ripiegata e finisce vicino alla parete metallica, dalla quale per mezzo del tubo di vetro è totalmente isolata. Un mastice contenuto entro al detto tubo impedisce il passaggio per esso a qualunque gas. Un tubo di vetro M N graduato in parti di eguale capacità, ordinariamente in 200, e chiuso all'estremo M può essere avvitato nell'imbuto superiore. Per usare di questo istrumento bisogna operare nel seguente modo. Tolto il tubo MN, ed aperti i due robinetti, si tuffa il vaso AB in una tinozza piena d'acqua, la quale empierà completamente esso vaso. Si chiude il robinetto superiore, e si solleva il tubo, lasciando però immerso l'imbuto inferiore, che si fa riposare sopra una tavola forata, la quale pure pesca nell'acqua. Il vaso rimane pieno, essendo il liquido sostenuto dalla pressione atmosferica (166). Dopo ciò si empie d'acqua il tubo MN, e capovoltolo, s'immerge il suo estremo aperto nell'acqua, e vi si fa passare entro un gas, che ne discaccia il liquido. Vi s'introducono ad esempio 100 volumi d'aria, e 100 d'idrogeno. Si chiude col pollice la bocca di esso tubo, ed immersolo completamente entro alla tinozza, si rovescia, e si pone in modo, che l'apertura sua stia al disotto dell'imbuto sommerso dell'apparato. Rimosso il pollice, si lascia entrare nel vaso AB la mescolanza gasosa. Dopo di aver chiuso il robinetto inferiore, si fa passare una scintilla attraverso dei gas coll'avvicinare al bottone *d* un corpo elettrizzato. Si vede un lampo, e girando la chiavetta inferiore, l'acqua nel vaso ascende di più, addimostrando con ciò, avere avuto luogo nella mescolanza gasosa una diminuzione di volume. Si apre il robinetto superiore ed i gas rimasti passano nel tubo graduato precedentemente avvitato all'imbuto dopo averlo empiuto d'acqua. Si vede che dei 200 volumi di gas ne rimangono solo 137. Dei 63 volumi spariti, la terza parte, ossia 21 volumi sono costituiti dall'ossigeno, che uniti a 79 volumi di azoto ne formavano prima 100 d'aria, e che adesso, essendosi combinati a 42 volumi d'idrogeno, hanno formato dell'acqua. Tutte le volte, che si tratti di sperimentare dei gas combustibili, e poco o nulla solubili nell'acqua, si può impiegare questo eudiometro. Si noti poi, che i fin qui descritti effetti della scintilla sono calorifici e non chimici, perchè essa non fa che aumentare la temperatura della mescolanza, dando così luogo alla combustione.

319. Effetti chimici della scintilla. — Allorchè si fa passare un gran numero di scintille elettriche per un tubo contenente aria, si producono poco a poco dei vapori d'acido nitrico: sono le scintille, che determinano la combinazione dell'azoto coll'ossigeno dell'aria. In un eudiometro a mercurio, in cui siasi introdotto gas ammoniacale, si faccia passare una lunga serie di scintille: il detto gas si decompone in idrogeno ed azoto. Si noti però, che tale effetto può provenire non da azione immediata della scintilla, ma dall'aumento di temperatura da questa prodotto. È degna di menzione la seguente decomposizione chimica indicata da Faraday. Sopra una lastra di cristallo (fig. 176) si dispongano uno vicino all'altro due fogli di carta *b*, *p*, il primo tinto in azzurro col tornasole, il secondo in rosso col tornasole e poi con un acido, e bagnati ambedue con una soluzione di solfato di potassa. Si mette *b* in comunicazione con una macchina elettrica per mezzo di un filo di platino P, e *p* in comunicazione col suolo per mezzo di un altro filo S. Facendo agire la macchina, dopo qualche istante si vede arrossarsi il punto della carta azzurra, che sta in contatto col filo P, e tingersi in azzurro la carta rossa nel punto, in cui tocca il filo S: il che è segno manifesto, che per l'elettricità si è decomposto il solfato di potassa, e l'acido si è portato nel punto, nel quale entra l'elettricità positiva, e la base in quello, per cui essa esce, onde diffondersi nel suolo. Si ottiene l'istesso effetto, allorchè i fili di platino sono tenuti a piccola distanza dalle carte, nel qual caso si vede una serie di scintille passare tra i fili e le carte vicine.

CAPO V.

MACCHINE ELETTRICHE

320. Macchina elettrica di Ramsden. — La macchina elettrica più comune è quella di Ramsden, la quale è così formata: Un disco di vetro poggia per mezzo di un asse orizzontale, da cui è attraversato nel centro, sopra un montante di legno, e può intorno al detto asse girare, venendo messo in moto con un manubrio. Il disco è premuto in ambedue le facce da due coppie di cuscinetti annessi a molle, i quali sono coperti di cuoio, imbottiti con crini di cavallo e spalmati di amalgama composta di una parte di zinco, due di stagno e tre di mercurio, la quale amalgama può essere sostituita da bisolfuro di stagno. A tutto ciò si aggiunge il condut-

tore, che consiste in un cilindro cavo di metallo, il quale suole terminare in un estremo con un globo, mentre nell'altro si divide in due branche, che presentano alle due facce del disco alcune punte. Il conduttore è sostenuto in posizione orizzontale da colonnette di materia coibente. È sul conduttore che si sperimentano i fenomeni elettrici; ecco come succede la sua carica. Per mezzo dell'attrito, che ha luogo tra il disco e i cuscinetti, si decompone il fluido neutro del disco: l'elettricità negativa passa ai cuscinetti, e da questi al suolo, con cui comunicano. L'elettrico positivo, che rimane nel disco, agisce per influenza (307) sul fluido neutro del conduttore, attira a sè l'elettricità negativa, la quale esce dalle punte (313), e con essa si ricombina. Rimane pertanto nel conduttore il fluido positivo, che va a trovarsi in grande tensione, ond'è capace di dare grosse scintille anche a notevoli distanze, di attirare energicamente i piccoli corpi, e di fare moltissimo divergere le paglie di un elettrometro. Dall'esposto risulta: che non può caricarsi una macchina quanto si vuole, imperocchè allora si avrà il massimo della carica, quando si sarà attuato tutto il fluido neutro del conduttore. Allorchè siasi ciò raggiunto, seguitando a girare il disco, altro non si ottiene, che riparare le perdite di elettrico, che hanno luogo per i piedi del conduttore, per le punte, e specialmente per l'aria; perdite di cui ci accorgiamo mentre, lasciando di girare il disco, vediamo scaricarsi ben presto il conduttore, e tanto più sollecitamente, quanto più l'aria è umida. È per questo che poco agisce la macchina alla presenza di molte persone, le quali per il vapore acqueo che tramandano colla traspirazione polmonale e cutanea, rendono l'aria umida (672) e però buona conduttrice.

321. Modificazioni proposte da Cantoni. — Così si sono disposte le macchine elettriche fino al presente, perchè si è sempre creduto, che stropicciati fra di loro due corpi uno dei quali sia coibente, uno prende l'elettricità positiva, l'altro la negativa in modo che nel corpo coibente il fenomeno elettrico sia affatto locale, ossia ristretto solamente alla superficie che ha sofferto l'attrito. Il chiarissimo professore Cantoni però ha dimostrato tale supposizione esser falsa, dappoichè ogni qual volta una delle facce d'un disco di materia isolante si carica d' una elettricità, la faccia opposta assume lo stato elettrico contrario, perchè gli strati consecutivi interni subiscono la polarizzazione (311). Dal che discende, che l'ordinaria disposizione delle macchine elettriche sia molto da modificarsi. Primieramente si domanda, se sia veramente utile che il disco di vetro sia sfregato dai cuscinetti in ambedue le facce. Kandt risponde di no, perchè trovandosi ambedue le facce cariche di elettricità omonime, deve risultare tra queste due elettricità una reciproca ripulsione, e quindi un notevole dissipamento della carica che tende a neutralizzarsi con quella dei cuscinetti. Ma ben più forte è la seguente ragione allegata dal Cantoni. Supponiamo che un disco di cristallo sia sfregato in una sola faccia: questo si viene a caricare positivamente, e per la polarizzazione che non può mai mancare, l'altra faccia prende lo stato elettrico negativo. Se il conduttore della macchina presenta un pettine metallico alla faccia sfregata, l'elettrico positivo di questa viene a caricare per influenza

il conduttore, come si è detto disopra. L'elettricità negativa della faccia opposta del disco esercita anch'essa nel conduttore un'influenza contraria alla prima, tendendo a caricarlo negativamente; ma siccome la detta superficie si trova a maggior distanza dal pettine, la seconda influenza sarà minore della prima tanto più quanto maggiore è l'ertezza del cristallo. S'immagini adesso che il medesimo disco subisca l'attrito da ambedue le facce, cosicchè tutte due siano cariche per eccesso: dovendo aver luogo la polarizzazione, nell'interno del disco vi sarà uno strato intermedio carico negativamente, e quindi sarà lo stesso che avere un cristallo stropicciato da una sola parte, di doppia superficie, ed avente un'ertezza eguale alla metà della primiera. Se coll'aumentare della superficie sfregata si ottiene un aumento di carica nel conduttore, col diminuire l'ertezza si diminuisce la carica, perchè si rende più efficace l'influenza dell'elettrico negativo. Nè questa perdita è uguale al guadagno, poichè tal compenso avrebbe luogo al più, se l'elettricità agisse solo con energia reciprocamente proporzionale alle distanze, mentre in questo caso sarebbe doppia l'elettricità positiva del disco, e doppia pure si sarebbe resa l'influenza contraria prodotta dallo strato negativo ridotto alla metà di distanza, e quindi riescirebbe inutile l'usare un doppio attrito. Ma noi sappiamo (300), che l'effetto dell'elettricità è nella ragione inversa dei quadrati delle distanze; dunque l'aumento dell'influenza contraria non è compensato dal raddoppiarsi della superficie stropicciata; e per ciò si deve conchiudere che l'uso del duplice attrito e delle duplici coppie di pettini è assolutamente nocivo. In secondo luogo ammette il Cantoni non essere utile far comunicare i cuscinetti col suolo, poichè la presenza dell'elettricità negativa in questi serve a mantenere la polarizzazione nel disco, per il che, dice, essere cosa ottima metterli invece in comunicazione con un altro conduttore isolato di eguali dimensioni del primo.

322. Macchina di Nairne. — Nairne in Inghilterra ideò una macchina elettrica per uso medico, la quale porta il nome del suo inventore, ed è fatta in modo da raccogliere ambedue le elettricità. Si compone essa di due conduttori isolati, uno dei quali A (fig. 177) porta un cuscino di cuoio imbottito di crini e l'altro P un pettine metallico munito di varie punte. Fra di essi vi è un cilindro di vetro M, che messo in moto per mezzo di un manubrio ruota intorno al proprio asse, e che da una parte tocca il cuscinetto e dall'altra passa vicino alle punte. Ognuno comprende che il conduttore avente annesso il cuscino si deve elettrizzare in meno, mentre l'altro si carica per eccesso Due aste metalliche D, E terminanti in due palle di ottone tengono queste abbastanza vicine l'una all'altra, perchè si abbia costantemente fra le dette due palle una serie continua di scintille che provengono dalla ricombinazione delle due opposte elettricità. Se si vuole che la ricombinazione dei due fluidi succeda a traverso del corpo di un malato, questo dovrà toccare colle mani le suddette due palle.

323. Macchina idro-elettrica di Armstrong. — Assai più potente delle precedenti è la macchina *idro-elettrica* di Armstrong. Nel 1840 Patterson avendo a caso messa una mano a contatto del

vapore, il quale esciva dalla valvola di sicurezza di una caldaia (580), ne ricevette alcune scintille, e ciò dette occasione alla costruzione della suddetta macchina. A (fig. 178) è una caldaia cilindrica che contiene l'acqua destinata ad evaporare, ed ha dentro di sè un altro cilindro concentrico in cui si accende il fuoco. Essa caldaia è sorretta da piedi E di materia isolante. Il vapore dotato di una tensione di 7 od 8 atmosfere si lascia sfuggire per varii tubetti B di legno, la cui cavità non è rettilinea ma alquanto ripiegata: e questi tubi attraversano una cassetta F in cui costantemente si trova acqua fredda. Appena si fa escire per essi il vapore, la caldaia dà segni di fortissima tensione di elettricità negativa, ed anche il vapore si mostra carico, ma positivamente, di elettricità che si può raccogliere in un pettine metallico isolato E. Lo svolgimento di elettricità si deve attribuire all'attrito che il vapore, il quale si addensa alquanto nell'attraversare la cassetta F, esercita contro la parete dei tubi, poichè diminuendo quest'attrito col togliere l'acqua fredda dalla cassetta, o col fare rettilinee le cavità dei tubi, o collo spalmare di grasso le pareti interne, si diminuisce ancora la produzione elettrica.

324. Elettroforo. — Un'altra macchina producente elettricità è l'*elettroforo*, il quale consiste in un piatto metallico che ha un orlo rilevato ed entro cui si pone una sostanza resinosa. Si prendono comunemente tre parti di trementina, due di ragia ed una di cera: si fanno queste sostanze bollire insieme per più ore, e quindi si versa la loro miscela a caldo dentro al piatto. Congelatosi il miscuglio, forma lo strato resinoso che appellasi *schiacciata*, la quale si suol fare ancora di guttaperca indurita. Sopra la schiacciata si pone un altro piatto metallico che dicesi *scudo*, il quale ha un diametro poco minore di quello della schiacciata, e che può levarsi e riporre tenendolo con un manico isolante. Battuta la schiacciata con una coda di volpe, se si ponga sopra ad essa lo scudo e poi si alzi, toccando questo non si ha alcun fenomeno elettrico, ma se si tocchi prima di sollevarlo si ha una scintilla, che ricevuta in un elettrometro si addimostra prodotta da elettricità negativa. Dopo ciò sollevato lo scudo e toccatolo di nuovo, se ne trae un'altra scintilla causata da elettricità positiva. Senza tornare a battere la sostanza resinosa potremo prolungare a nostro piacere l'esperimento, ed avremo una scintilla di elettricità negativa nel toccare lo scudo collocato sulla schiacciata, ed una scintilla di elettricità positiva quando si tocchi dopo di averlo sollevato. Spieghiamo questi fenomeni: Battuta la schiacciata si trova elettrizzata negativamente la sua superficie superiore, polarizzandosi il resto. Collocandosi quindi sopra essa superficie lo scudo, l'elettricità negativa di cui quella è carica non può passare allo scudo, perchè è ritenuta dalla coibenza della sostanza resinosa; colla sua influenza però (307) decompone il fluido neutro dello scudo; respinge il negativo alla superficie di questo, ed attira alla superficie inferiore l'elettricità positiva. Questa non passa alla schiacciata, perchè tal passaggio è impedito dalla cattiva conduttricità della medesima, e perchè essendo la superficie dello scudo estesa e levigata, non trova il detto fluido un punto rilevato in cui accumularsi e prendere

forza a scagliarsi. Se si solleva lo scudo le due elettricità accidentali si neutralizzano, e per ciò non si ha alcun fenomeno elettrico: che se prima di sollevarlo lo tocchiamo, riceveremo una scintilla data dall'elettricità di pressione che così sfugge dallo scudo, rimanendo ivi l'indotta, ma vincolata, la quale sollevato lo scudo, torna ad esser libera, ed è causa della seconda scintilla. Non perdendo con ciò la schiacciata nulla del suo elettrico, il fenomeno può per lungo tempo ripetersi.

325. Figure di Leuctemberg. — Coll'elettroforo si può produrre un altro fenomeno detto *figure di Leuctemberg*. Si abbia una bottiglia di Leyda, apparato di cui qui a poco (327) parleremo, la quale abbia l'asta terminante a punta. Si carichi essa positivamente nell'interno, e battuta la schiacciata colla coda di volpe, si tracci colla punta della bottiglia su di essa una figura senza però solcarla: la figura sarà invisibile. Prendasi quindi polvere di zolfo, e postala in un recipiente chiuso con una carta, in cui siano praticati molti piccolissimi fori, si agiti esso recipiente, e con ciò si faccia dai detti fori uscire la polvere e cadere sull'elettroforo. La polvere di zolfo si disporrà nelle parti, sopra le quali è passata la punta della bottiglia, ond'è che il disegno diverrà visibile. Ciò proviene da che, mentre la superficie della schiacciata è carica di elettricità negativa, le parti su cui è passata la punta sono cariche positivamente per l'elettricità ad esse comunicata dalla bottiglia. La polvere di zolfo poi nel passare per i fori della carta ha subito un attrito, per il quale si è elettrizzata per difetto, e conseguentemente non può fermarsi se non in quelle parti della schiacciata, che hanno elettricità positiva.

326. Elettro-motore di Holtz. — Grande ammirazione ha eccitata in questi ultimi anni la *macchina elettrica di Holtz*, la quale è così formata (fig. 179). Un disco di vetro sottile VV di circa 40 centimetri di diametro, e che è bene di coprire con una vernice coibente, può girare con un asse orizzontale come il disco di una macchina elettrica comune. Bisogna che questo disco sia mobilissimo, e che gli si possa imprimere una velocità di 14 o 15 giri al secondo; ciò che si ottiene con un sistema di ruote RR' abbracciate da cinte di cuoio. Da una parte e dall'altra dell'asse sono rivolte ad una stessa faccia del disco nella direzione del diametro orizzontale due pettini metallici T, di cui ciascuno comunica con un conduttore cilindrico isolato. Presso all'altra faccia del disco, a circa un paio di millimetri di distanza, si trova un altro disco di vetro V' V', pure difeso da vernice coibente, largo un 4 millimetri più dell'altro, e tenuto fermo da cilindri di cristallo A. Questo secondo disco ha nel suo mezzo un largo foro circolare I per lasciare libera la rotazione dell'asse, che porta il primo disco. Vi sono inoltre tagliate due finestre od aperture *op*, *o'p'* aventi la forma di porzioni di due settori opposti al vertice, e ciascuna con uno dei due lati rettilinei rimpetto ad uno dei pettini, che stanno dall'altra parte del disco mobile, cosicchè risultano simmetricamente situate una sopra, l'altra sotto al diametro orizzontale. Lungo il lato orizzontale di ciascuna di dette aperture è incollata tanto sulla faccia esterna come sull'altra di detto disco, ma per

una larghezza maggiore sulla prima, un' *armatura* costituita di una lista di carta con una o più linguette pure di carta rivolte verso il vano dell'apertura. I conduttori di ottone comunicanti coi pettini terminano ciascuno con una sfera, una delle quali è trapassata nel centro da un foro orizzontale. Introducendo in questo foro una bacchetta di ottone munita d'una impugnatura di vetro, si possono avvicinare più o meno fra di loro le estremità C, C' dei due conduttori. Per caricare l' apparecchio si pongono a contatto gli estremi dei conduttori, indi si fa rotare il disco, movendolo in senso contrario alla direzione delle linguette di carta, mentre si comunica una sufficiente carica elettrica ad una delle armature, il che si ottiene facilmente col toccare quell'armatura con il bottone di una boccia di Leyda già caricata. Un forte odore simile a quello, che si ha nel caricarsi della macchina ordinaria, indica, l'apparato esser carico, ed intanto fra le palle C, C', allontanate fra di loro, scoccano senza interruzione delle scintille, le quali seguono a passare finchè dura la rotazione del disco. Se i conduttori si congiungono per mezzo di un filo metallico, o si facciano ambedue comunicare col suolo, il circuito così formato è percorso da una corrente elettrica abbastanza intensa, la quale si può misurare con un galvanometro (404) e può infiammare il cotone fulminante, ed incendiare, ma con maggiore difficoltà, la polvere da schioppo. Se due fili finissimi di platino si fanno comunicare coi conduttori e con un recipiente contenente acqua, questa per il passaggio della corrente si decompone. Lo svolgimento dell'elettricità seguita, come dicemmo, finchè dura a ruotare il disco: dopo pochi momenti, in cui questo sta fermo, l'apparato è scarico, e per attivarlo di nuovo bisogna tornare a dare una carica elettrica ad una delle due armature. Passiamo a dare spiegazione del modo di agire di questa macchina. Consideriamo la parte del disco mobile, che ad un dato istante si trova di rimpetto all'armatura, la quale supponiamo essere stata elettrizzata positivamente. La detta parte del disco mobile verrà caricata per induzione negativamente sulla faccia rivolta al disco fisso, mentre polarizzandosi (311) essa parte del disco rotante, nell'altra faccia si dimostrerà carica positivamente. Tale elettricità positiva agirà per influenza sulle punte del pettine, il quale le sta di fronte, onde l'annesso conduttore si caricherà per eccesso, e la parte di superficie del disco mobile rivolta al pettine tornerà allo stato naturale. I medesimi fenomeni si riproducono su tutte le parti del disco girante, le quali successivamente si presentano all'armatura in principio caricata. Ma seguitiamo ad accompagnare la parte del disco mobile, che abbiamo sul principio presa di mira. In questa non rimane che l' elettricità negativa sulla faccia rivolta al disco fisso, la quale elettricità, a misura che la parte del disco, in cui risiede, viene trasportata innanzi nella rotazione, agisce per induzione sulle parti della faccia opposta del disco fermo, a cui si andrà di mano in mano affacciando, elettrizzandole positivamente e rimanendo le due elettricità contrarie, che si vanno a trovare di fronte nei due dischi, fra di loro vincolate. Ma appena la parte del disco mobile, che abbiamo fin qui accompagnata, viene a trovarsi avanti alla seconda finestra, l'elettricità negativa passa

ad esser libera, ed agisce per influenza sull'armatura in essa finestra incollata, attraendo a sè l'elettricità positiva, colla quale si neutralizza, ond'è, che l'armatura rimane elettrizzata per difetto. La parte del disco mobile dovrebbe rimanere allo stato elettrico naturale, il che non succede, poichè immediatamente l'elettricità negativa dell'armatura agisce per influenza sulla suddetta parte del disco girante, attrae il fluido positivo che rimane sulla faccia anteriore di esso vetro, mentre la faccia opposta per polarizzazione si carica d'elettricità negativa, e questa per influenza elettrizza negativamente il conduttore, che le sta di fronte. Nell'altra metà del giro avranno luogo fenomeni consimili a quelli ora descritti, salvo che le elettricità sui due vetri saranno di nome contrario a quelle che essi presentavano nel primo mezzo giro. L'elettricità positiva raccolta nella faccia interna della solita parte del disco mobile, quando questa si trova di nuovo dopo un intero giro di contro alla prima finestra, mancando in un tratto la reazione del vetro fisso, verrà a rinforzare l'elettrico positivo dell'armatura di essa finestra: questa armatura agirà per induzione sulla parte del disco mobile, caricherà negativamente la faccia a sè rivolta, positivamente la faccia opposta, che per influenza farà caricare in eccesso il pettine, che le sta di fronte, e l'annesso conduttore. Nel secondo e nei successivi giri si ripeteranno sempre, e nell'istesso ordine, gli identici fenomeni. Adunque caricata da noi positivamente una delle due armature, l'altra viene a caricarsi in meno per il giuoco stesso dell'apparato, e i conduttori presenteranno cariche dello stesso nome di quelle possedute dalle armature, a cui sono rivolti i pettini. Si costruiscono macchine di Holtz a quattro finestre, a molte coppie di dischi, ed anche a due dischi orizzontali mobili ambedue, ma in direzione contraria.

CAPO VI.

CONDENSATORI

327. *Bottiglia di Leyda* — 328. *Carica della medesima* — 329. *Scariche parziali successive* — 330. *Scarica istantanea* — 331. *Studi del Cantoni* — 332. *Quantità della carica d'una bottiglia* — 333. *Bottiglia unità di Snow Harris* — 334. *Elettrometro scaricatore di Lane* — 335. *Batteria elettrica* — 336. *Effetti fisiologici della bottiglia di Leyda* — 337. *Effetti fisici* — 338. *Effetti meccanici.*

327. Bottiglia di Leyda. — Nel secolo passato Cuneus e Muschembroek nella città di Leyda volevano un giorno elettrizzare dell'acqua posta in un bicchiere. Accadde che mentre uno di essi teneva con una mano il bicchiere, coll'altra toccò la catena, per mezzo della quale l'elettrico si comunicava dalla macchina elettrica all'acqua. Nel momento del contatto egli sentì per le braccia una forte scossa. Fu allora che Muschembroek costruì la *bottiglia di Leyda*. È questa formata di un vaso cilindrico di cristallo, il cui fondo e pareti sono coperti fino ai quattro quinti dell'altezza con una

sostanza conduttrice, che per lo più è una sottile lamina di stagno attaccata al vetro con gomma arabica, e ciò tanto nell'interno, che nell'esterno. Che se il detto vaso fosse di collo stretto in modo, che non potesse introdursi nell'interno la mano per collocarci la stagnuola, basterebbe empirlo fino all'indicata altezza di limatura di ferro, o di piccoli pezzi di qualunque sostanza conduttrice, od anche di acqua. La parte poi di vetro, che rimane scoperta si suole verniciare con ceralacca, onde l'umidità, aderendo al vetro, non stabilisca alcuna comunicazione elettrica tra le due stagnuole od *armature* interna ed esterna. Il vaso così armato viene chiuso da un coperchio di legno, che pure è bene spalmare con vernice coibente, il quale per un foro praticato al suo centro fa passare nell'interno della bottiglia un fusto metallico, che nella parte esterna termina con un globo, e coll'altro estremo tocca un punto qualunque dell'armatura interna. Accostandosi il detto globo al conduttore d'una macchina elettrica, e facendo contemporaneamente comunicare l'armatura esterna col terreno, il fluido elettrico per mezzo del fusto metallico va all'armatura interna, e vi ci si condensa assai come si può verificare con un semplicissimo esperimento. Allorchè si fa agire la macchina elettrica isolata, si vede che per far segnare all'elettrometro di Henley (304) 45° vi abbisogna, ad esempio, un mezzo giro del disco. Scaricata la macchina, le si appressi il bottone di una bottiglia isolata, e si osserverà, che presso a poco si richiede pure un mezzo giro per far segnare all'elettrometro il medesimo grado. Ma se facciamo comunicare col suolo l'armatura esterna della boccia, ci accorgeremo che per avere questo stesso effetto si richieggono oltre a 30 giri; onde devesi conchiudere, che tutta l'elettricità eccitata in più di 29 giri si è condensata nella bottiglia. Toccandosi con una mano l'armatura esterna di una boccia di Leyda carica, ed appressandosi l'altra al bottone del fusto, si trae una scintilla occompagnata da scoppio, si prova una violenta scossa attraverso del corpo, e la bottiglia rimane scarica, ma non perfettamente, cosicchè si può ricevere una seconda ed anche una terza, scossa, però assai deboli. Si può senza incomodo scaricare una bottiglia coll'*arco eccitatore*, il quale è un arco metallico, che termina in due bottoni, ed è sostenuto nel suo mezzo da un manico isolante. Con uno dei due bulbi si tocca l'armatura esterna, coll'altro il bottone della boccia. Presentati alla bottiglia più archi eccitatori di eguale lunghezza ma di diversa sostanza, la scarica nella massima parte passa per l'arco di materia più buona conduttrice; ma se gli archi sono di una stessa materia e di disuguale lunghezza la scarica a preferenza succede per l'arco più corto.

328. Carica della bottiglia. — Come avviene il tanto accumularsi dell'elettrico nella boccia? Accostandosi al conduttore di una macchina il bulbo di una bottiglia, per mezzo del fusto metallico l'elettricità positiva della macchina passa nell'interno, e si diffonde nell'interiore armatura. Quest'elettricità svolge per influenza l'elettricità neutra dell'armatura esterna, respinge la positiva, che si disperde nel terreno, ed attira e vincola (309) la negativa. Dissimulandosi anch'essa, farà sì che un'altra quantità di fluido positivo passi dal conduttore all'interno della boccia, la quale nuova quantità

agirà, e si comporterà come la prima. Ripetendosi ciò più e più volte, la bottiglia andrà gradatamente a caricarsi. Se l'armatura esterna non comunicasse col suolo, l'elettricità positiva esterna non potrebbe disperdersi, e la sua presenza non permetterebbe l'ingresso nell'interno di una nuova quantità di fluido omonimo. È qui poi da notarsi, che il fluido positivo dell'armatura interna è in maggior quantità del negativo dell'esterna, poichè essendo l'attività elettrica nella ragione inversa dei quadrati delle distanze (300), e trovandosi le armature separate fra di loro per l'ertezza del vetro, il fluido interno non potrà raggiungere il massimo effetto di sua attività, che consisterebbe nell'eccitare una quantità di elettrico negativo eguale alla sua; ma ne svolgerà una quantità minore. Questa elettricità esterna poi non potrà vincolare tutta la positiva interna, perchè se a distanza l'elettrico non può dissimulare una quantità eteronima eguale a sè, molto meno ne potrà vincolare una quantità maggiore. Avrassi adunque nell'esterna stagnuola elettricità negativa in minor quantità, ma tutta vincolata, e nell'interna elettricità positiva in maggior quantità, ma parte vincolata e parte libera.

329. Scariche parziali successive. — Ciò che si è detto in ultimo, si può dimostrare col seguente sperimento. Si ponga la bottiglia sopra un sostegno di materia coibente, e si tocchi l'armatura esterna: non si avrà scintilla, perchè tutto il fluido esterno è vincolato. Ma trovandosi nell'altra armatura anche una parte di fluido allo stato libero, questo escirà sotto forma di scintilla, quando venga toccato il bottone. Ritoccato il bulbo, non si ha altro segno di elettricità, per essere rimasto nell'interno il solo fluido vincolato. Non bastando però questo a ritenere dissimulata tutta l'elettricità negativa esterna, ne renderà libera una parte, che darà la scintilla, quando si tocchi la superficie metallica esterna. Egualmente l'elettricità negativa per tal modo indebolita non sarà più valevole a tenere dissimulato tutto il fluido positivo interno, che conseguentemente rimanendo in parte libero, produrrà la scintilla ad un nuovo contatto del bulbo. Si suole fare l'esperimento, mettendo in comunicazione colle due armature due campanelle metalliche: un pendolino isolato e collocato in mezzo a loro sarà alternativamente attratto dall'una e dall'altra, e portando via le elettricità, che si fanno libere, scaricherà un poco alla volta la bottiglia.

330. Scarica istantanea. — Se si vuole, che la bottiglia si scarichi istantaneamente, basta di presentare un arco eccitatore, od un'altra comunicazione qualunque alle due armature. Allora le due opposte elettricità attraversano il corpo conduttore, e si ricombinano Nello scaricarsi della bottiglia si sente, come dicemmo, uno scoppio, e si eccita calorico e luce. Lo scoppio nasce da che il fluido elettrico nel suo passaggio dalle armature all'eccitatore fende l'aria frapposta, poichè la scarica avviene sempre prima che esattamente sia seguito il contatto. La produzione di calorico e luce si suole attribuire al trasporto della materia ponderabile. Ammettono difatti i fisici che l'elettricità conduca seco una parte del corpo, da cui esce, ridotta a minutissima polvere, la quale si arroventa per la veemenza con che viene scagliata. Provano ciò col mettere nella boccia di Leyda un bottone d'argento: dopo molte scariche vedesi attaccato al bulbo

di ottone dell'arco eccitatore un pulviscolo d'argento. Altra prova è, che cambiando la materia del fusto, cambia il colore della scintilla, e cambiano le strie dello spettro di questa (795).

331. Studi del prof. Cantoni. — Si era creduto da tutti, che le due opposte elettricità, le quali caricano le due armature della bottiglia, non risiedessero solo in esse, ma in massima parte si disponessero a contatto delle facce del vetro, anzi in parte s'internassero in queste. Credevano ciò dimostrare colla bottiglia ad *armature mobili*. Tale bottiglia A (fig. 180), i cui differenti pezzi si possono separare, si compone di un vaso conico di vetro B, di un'armatura esterna di latta C, e di un'armatura interna D del medesimo metallo. I detti pezzi posti gli uni dentro agli altri, come vedesi in A, costituiscono una completa bottiglia elettrica. Dopo di averla caricata e collocata sopra un sostegno coibente, se ne toglie colla mano l'armatura interna, in seguito il vaso di vetro, e si dispongono i varii pezzi gli uni vicini agli altri, come mostra la figura. Trovandosi le armature in comunicazione col suolo, perdere debbono l'elettricità, se mai la contengono: eppure se si rimette sul sostegno coibente l'armatura C, e le si pone dentro il vaso B, ed in questo l'armatura D, si ricostruisce la bottiglia, la quale si mostra carica quasi come prima. Da ciò si conchiudeva, che le due elettricità dissimulate, obbedendo alla loro attrazione reciproca, abbandonassero le armature per portarsi sulle superficie del vetro. Il chiarissimo Cantoni dice, ciò esser falso, poichè le due superficie del vetro non solo non prendono l'elettricità delle armature vicine, ma succedendo la polarizzazione del vetro (311), acquistano l'elettricità di nome contrario, ed ecco perchè nel distaccare le armature del coibente si prova una resistenza, la quale non si dovrebbe avere, se l'armatura e l'attigua superficie del vetro fossero cariche di fluido omonimo. Spiega poi il Cantoni il fenomeno della bottiglia ad armature mobili col dire, che nel decomporsi di questa le cariche delle armature passano allo strato dell'aria posta fra le armature ed il vetro. Eccher e Righi si sono opposti a Cantoni dicendo, che se per piccole cariche può verificarsi, che le due elettricità, una esistente in un corpo conduttore e l'altra in un coibente, stiano di fronte ed a contatto senza combinarsi, come veramente avviene nell'elettroforo (324), non può in verun conto ciò ammettersi in grandi cariche, come quelle della boccia di Leyda. Ancora si agita la questione.

332. Quantità della carica di una bottiglia elettrica. — Avendosi due bottiglie elettriche di diverse dimensioni; con quale delle due si potrà avere maggiore scossa? A ben rispondere a tale domanda è da distinguersi, se vogliasi alle due boccie dare una diversa od una medesima carica. Quando si dia a ciascuna bottiglia la massima carica di cui è capace, allora certamente la maggiore darà scossa maggiore; imperocchè essendo la capacità a ricevere l'elettrico nella ragione diretta della superficie (304), la bottiglia più grande potrà maggiormente caricarsi, e perciò produrrà maggiore effetto. Al contrario se una eguale quantità d'elettrico si comunichi ai due apparati, è evidente, che mentre essa quantità di fluido ha una data tensione nella boccia grande, ne avrà una maggiore nella piccola, e che per conseguenza gli effetti, che dipendono dalla ten-

sione, come la scossa, si otterranno più energici colla piccola che colla grande bottiglia. In qualunque caso poi, quanto meno erto è il vetro della bottiglia, tanto più prestamente essa si carica; perocchè agendo l'elettrico, come tante volte si è detto, con energia, la quale è nella ragione inversa dei quadrati delle distanze, se minore sarà lo spazio che separa le due armature, più presto ed in maggior copia si accumulerà l'elettrico nelle medesime. Non si può accordare però al vetro una estrema sottigliezza, poichè allora troppo facilmente le due contrarie elettricità ne cagionerebbero la rottura, della quale siamo a parlare.

Se la bottiglia si carica soverchiamente, può succedere la *scarica spontanea*, cioè le due elettricità, scorrendo per le superficie del vetro non coperte di stagnuola, vanno a neutralizzarsi: ovvero più facilmente avviene la rottura del vaso; cioè le due opposte elettricità, onde riunirsi, forano l'interposta lastra di vetro, rendendo così inservibile l'apparato. Per la qual cosa allorchè ci accorgiamo, che l'elettricità libera interna (328) è tanta da non potere essere più trattenuta dalla coibenza dell'aria, onde sibilando sfugge, dovremo desistere da una carica maggiore. Ci potrà ancora servire di regola l'elettrometro di Henley (304) il quale trovasi sempre annesso alla macchina elettrica. Si deve però avvertire, che i gradi di esso elettrometro non sono esattamente proporzionali alla tensione della carica. Invero, facendo agire la macchina si vede, che il pendolo sul principio poco si eleva, poi si muove più velocemente, e quindi di nuovo rallenta il moto allorchè trovasi molto discosto dalla verticale. Avviene ciò, perchè allorquando si carica il conduttore della macchina, passa l'elettrico non solo alla colonnetta dell'elettrometro, ma una parte va al quadrante, quantunque sia di materia coibente, addensandosi di più al lembo di esso (305). Quindi è che non solo il pendolino è respinto dalla colonnetta, ma ancora dalle parti sporgenti del quadrante, la quale seconda ripulsione ritarda sul principio il libero cammino di esso pendolo. Più però questo si sposta, più decresce l'ostacolo, perchè scemano le parti del quadrante, le quali spingono il pendolo in senso contrario a quello, verso cui lo spinge la colonnetta. Ma crescendo di più la divergenza, che ha il pendolo colla colonna, si va incontro ad un altro ostacolo, che gli ritarda l'ulteriore cammino. Tale ostacolo è prodotto dal *momento di gravità* (32), il quale tende a riportare il pendolo alla posizione verticale. Per servirsi pertanto di questo elettrometro, bisogna ai gradi, che leggiamo in esso, aggiungere gli altri che sono notati nella seguente tavola compilata da Volta:

Gradi dell'elettrometro	Gradi da aggiungersi
1	2,1
5	1,7
10	1,0
15	0,2
17 fino a 22	0,0
25	0,4
30	1,8
40	6,0
50	18,0
60	60,0.

Se la bottiglia che si vuole caricare è piccola, si potrà procedere nella carica finchè l'elettrometro non segna 40 o 50 gradi; che se la bottiglia è grande si dovrà desistere appena l'elettrometro giunge a 60 gradi.

333. Bottiglia unità di Snow Harris. — Per caricare una boccia di Leyda d'una quantità definita di elettrico Snow Harris ha costruito un apparato detto *Bottiglia unità*. Consiste questa in una piccola bottiglia di Leyda montata sopra un bastone B di vetro (fig. 181). All'armatura esterna di essa sta attaccata un'asticella metallica, che termina in un bottone *a*. Il fusto che comunica coll'armatura interna porta un'appendice con un altro bottone *b* il quale può più o meno accostarsi ad *a*. Quando si vuole caricare una bottiglia A, si fa comunicare il bulbo *c* di questa coll'armatura interna della boccia unità per mezzo del filo metallico *v*, e l'armatura esterna di quest'ultima si mette in comunicazione col conduttore P di una macchina mediante un altro filo metallico *d*. Mentre l'armatura esterna della bottiglia unità a motivo della sua comunicazione col conduttore della macchina si carica positivamente, si decompone il fluido neutro dell'armatura interna della medesima, ed il fluido positivo di questa respinto passa a caricare l'interno della boccia A. Non appena la piccola bottiglia ha raggiunto un certo grado di carica, maggiore o minore secondo la maggiore o minore distanza, che passa tra *a* e *b*, succede tra questi due bulbi la scarica, senza che ciò porti alcuna alterazione alla carica ricevuta da A. Si dà poi una seconda carica alla bottiglia unità, che si scarica spontaneamente quando ha raggiunto lo stesso grado di prima, e così di seguito. Durante ciascuna carica della bottiglia di Harris passa dall'armatura interna di questa all'armatura interna di A una data quantità di elettrico positivo, cosicchè facendo scaricare quella un numero triplo o quadruplo di volte, avremo caricata tre o quattro volte maggiormente la boccia A.

334. Elettrometro scaricatore di Lane. — Può avvenire, specialmente negli usi medici dell'elettricità, che la bottiglia elettrica non debba esser carica oltre ad un certo grado. Ad impedire in questi casi una carica troppo forte si adopera l'*elettrometro scaricatore* di Lane. L (fig. 182) è una comune bottiglia di Leyda nella cui palla A è praticato un foro atto a ricevere uno spillone di ottone che sta annesso ad un braccio di vetro *b* il quale porta nell'altro estremo una palla *c* di rame, attraverso di cui scorre una verga metallica che termina nelle sue estremità in due bottoni, uno dei quali *f* può esser posto a diverse distanze dal bulbo A della bottiglia. Si fa comunicare la verga mobile coll'esterna armatura per mezzo della catena *v*. Se l'intervallo tra A ed *f* si mantiene inalterato, la bottiglia richiede sempre il medesimo grado di carica perchè avvenga la scarica spontanea. Posti quindi a debita distanza tra loro i bottoni A ed *f* saremo certi che la bottiglia non potrà mai eccedere nella carica quel grado il quale richiedesi per l'esplosione spontanea.

335. Batteria elettrica. — La batteria elettrica è formata da più bottiglie di Leyda le quali comunicano fra di loro nell'esterno col riposare tutte sopra un medesimo piatto metallico, e nell'interno

col terminare tutti i fusti metallici od in un comune bottone od in una verga deferente. Si carica la batteria col far comunicare il bottone o la verga comune colla macchina elettrica ed il piatto col suolo, e si scarica collo stabilire per mezzo dell'arco eccitatore una comunicazione tra il detto bulbo ed il piatto. Che se si voglia *fulminare*, ossia fare attraversare dall'elettrico, un animale od un altro oggetto qualunque, si fa uso dell'*eccitatore universale*, che è composto di una base di legno da cui sorgono due colonnette di vetro. Nella parte superiore di queste sono annesse a cerniera due aste di ottone che possono dirigersi in tutti i sensi ed avvicinarsi più o meno fra di loro. Fra le dette due colonne avvi un sostegno di legno che porta un piccolo disco orizzontale su cui si colloca l'oggetto da fulminarsi. Trovandosi le due aste d'ottone cogli estremi a contatto con due punti opposti dell'oggetto, si fa comunicare una di esse col piatto della batteria e l' altra con uno dei due bottoni dell'arco eccitatore. Avvicinandosi il secondo bottone di questo al bulbo della batteria, avrà luogo la scarica.

336. Effetti fisiologici della scarica della bottiglia di Leyda. — Si è già accennato (330), che toccando con una mano l'armatura esterna di una boccia elettrizzata e coll'altra il bottone, si sente una scossa agli avambracci, ai bracci ed al petto. Se molti si tengono per mano, formando per così dire una catena, ed il primo tocchi l'armatura esterna e l'ultimo il bulbo, tutti provano contemporaneamente la scossa, essendo tanta la velocità con cui questa si propaga, che sulle rive del Tamigi si potè comunicarla ad una catena d'uomini lunga tre chilometri senza che si potesse avvertire successività di tempo. La scarica d'una bottiglia e più d'una batteria può produrre ben grandi effetti. Difatti se una scarica di una batteria mediocre può uccidere piccoli animali come conigli, colombi ecc., con una grande batteria si può dare la morte anche ad un bue. Aveva dunque ragione Muschembroek nello scrivere a Réaumur, che la corona di Francia sarebbe meschino compenso al sacrifizio di assoggettarsi ad una forte scarica elettrica. Una batteria di 9 grosse bottiglie sarebbe molto pericolosa per l'uomo.

337. Effetti fisici. — La scarica di una batteria attraverso di un sottil filo di ferro tenuto tra due pinzette di metallo lo fa arroventare e fondere. Si possono fondere piccole e sottili lamine d'oro o d'argento operando nel modo seguente: Si pongono alcuni pezzetti di queste lamine gli uni vicino agli altri, ma senza toccarsi, fra due lastre di vetro e si fa passare per esse la scarica. Se questa sia energica le dette foglie si volatilizzano e nel loro posto rimane una macchia nera, ma se la scarica è debole la volatilizzazione non ha luogo che negli angoli delle lamine per i quali l'elettricità in ciascun pezzo entra ed esce, perchè secondo l'osservazione del Beccaria le scariche elettriche hanno maggiore azione nei luoghi ove scorrono più ristrette ed addensate. Si copra un pezzo di seta bianca con una carta intagliata e sopra questa si disponga una sottilissima lamina d'oro e sopra l'oro un cartone, collocando il tutto sotto un piccolo torchio. Da tutti due gli estremi la foglia d'oro è in contatto con una piccola lamina di stagno sporgente in fuori. Fra i due pezzi di stagno si fa passare la scarica di una

batteria, la quale, attraversando la lamina d'oro, la volatilizza, e l'oro si deposita sulle parti scoperte della seta sotto forma di una polvere oscura, che vi forma l'impronta dell'intaglio.

338. Effetti meccanici. — La scarica è capace di forare una lastra di vetro o più fogli di carta sovrapposti, ed a tal uopo si fa uso d'un apparato che appellasi *buca vetro*. Sorgono da un tavolo due colonne di vetro le quali mediante una traversa reggono una punta metallica colla cuspide rivolta in basso, e che termina nell'estremo superiore con un bottone. La lastra di cristallo o la carta da bucarsi riposano sopra un tubo di vetro nel cui centro, ossia nel posto dell'asse, sorge un'altra punta metallica la quale pur termina nell'estremo inferiore con un bulbo, che sporge al disotto del tavolo. Le due cuspidi toccano le due facce opposte della lastra di cristallo nel punto in cui si vuole far succedere il perforamento. Disposte così le cose, si mette la punta inferiore in comunicazione coll'armatura esterna della bottiglia, e col bulbo di questa si tocca il bottone della punta superiore. La scintilla allora scocca fra i due conduttori, e nel vetro o nella carta si forma un sottilissimo buco. È cosa degna di osservazione che se si fora un foglio di carta, si trova che le lacinie nei due mezzi fogli sono rivolte in senso opposto dal di dentro al di fuori. Questo fatto, che i sostenitori dei due fluidi elettrici (296) recano in prova della loro teoria, viene attribuito dagli altri all'espansione dell'aria frapposta.

339. Termometro di Kinnersley. — Il termometro di Kinnersley si compone di un grosso tubo di vetro (fig. 183) fissato alle due estremità mediante un mastice a due viere metalliche che lo chiudono esattamente e che sostengono due aste terminanti a globo. Il conduttore inferiore è fisso e l'altro può scorrere in una scatola di cuoio la quale deve essere a tenuta d'aria. Dalla base dell'apparato si diparte un secondo tubo, che poi procede parallelo al primo. Si versa nel secondo tubo un liquido colorato il cui livello s'innalzerà egualmente anche nell'altro; e si deve fare in modo che esso livello cada un poco sotto al bottone dell'asta inferiore. Tutto ciò in tal modo disposto, si fa passare la scarica d'una bottiglia fra i due conduttori come viene indicato dalla figura. Il liquido istantaneamente spinto fuori del tubo più grande farà inalzare di circa due centimetri la superficie di livello nell'altro, la quale però subito tornerà a prendere la primiera posizione: la qual cosa dimostra che il fenomeno non è dovuto, come credevasi, ad aumento di temperatura, ma bensì ad espansione istantanea dell'aria; ond'è che la denominazione di termometro data all'apparato è impropria. La scarica elettrica non solo fa espandere i gas ma anche i liquidi spruzzandoli nei corpi circonvicini, ed esercita pure l'espansione nei solidi, cosicchè fulminando un legno si può ridurlo a scheggie.

340. Condensatore d'Epino. — Il condensatore d'Epino è consimile ad una boccia di Leyda ad armature mobili (331) e consiste (fig. 184) in due piatti metallici A, B verticali, sostenuti da piedi di cristallo, e che possono essere avvicinati ad una lastra di vetro verticale V, od allontanati da questa. La faccia, la quale non riguarda la detta lamina V, di ciascun piatto porta un pendolino appeso ad un filo deferente. Sia il piatto A posto vicinissimo a V,

ed il piatto B ne sia distante, e si faccia comunicare il primo con una macchina elettrica: esso si caricherà, ed il suo pendolo divergerà di molto. Tolta la comunicazione colla macchina, il pendolo *a* rimane divergente: ma se allora si avvicini a V il piatto B, toccandolo colla mano, il pendolo *a* si abbassa poco a poco, e rimane alquanto divergente; mentre collocato B anche vicinissimo a V, non si vede *b* in alcun modo divergere. Se però in appresso si allontanino ambedue i piatti dalla lastra di cristallo, i due pendolini divergeranno di molto, e fatto il saggio delle cariche dei piatti, si troverà essere positiva quella di A, e negativa quella di B. Apparisce manifesta la ragione del fenomeno. L'elettricità positiva comunicata ad A agisce sul fluido neutro di B, attira verso di sè l'elettricità negativa e respinge la positiva, che si disperde nel suolo. L'elettrico di B rimane tutto vincolato dal positivo di A, ed a sua volta vincola gran parte di questo, e per ciò *b* rimane verticale, ed *a* diminuisce di divergenza. Se il piatto A si fa comunicare di nuovo colla macchina, potrà ricevere un'altra quantità di fluido positivo, che agirà sul fluido neutro di B tenuto in comunicazione col suolo, e così sempre più si caricheranno i due dischi, come avviene nelle armature d'una bottiglia (438), e come queste si potranno scaricare od un poco alla volta (329) od istantaneamente (330).

341. Forza condensatrice. — Si suol dare il nome di *forza condensatrice* al rapporto che passa fra la quantità di elettrico, che trovasi nel piatto *A*, o nell'armatura interna di una bottiglia, quando il condensatore sia carico, e quella che lo stesso piatto, od armatura, conterrebbe se non vi fosse condensazione, segnando in ambedue i casi l'elettrometro di Henley il medesimo grado.

342. Elettrometro condensatore. — Volta ha ideato un piccolo apparecchio detto *elettrometro condensatore*, che serve a far conoscere le sorgenti di elettricità, le quali per la loro estrema debolezza non sono valevoli a dare segni di sè negli elettrometri comuni. Il suddetto apparato è un elettrometro di Volta (299) il quale invece di terminare superiormente in un bottone, termina in un piatto metallico, che dicesi *piatto condensatore*, e che ha la superficie superiore coperta di uno strato sottilissimo di vernice coibente. Sopra questo se ne colloca un altro simile avente la superficie inferiore spalmata della medesima vernice. Questo secondo piatto appellasi *collettore*, e porta annesso un manico isolante. Posti i due piatti a contatto, si tocca il collettore col corpo, in cui si svolge l'elettricità, ed il condensatore contemporaneamente si tocca con una mano. In questo modo piccola dose di elettrico si comunica al primo, e questa per influenza agisce sul fluido neutro del secondo piatto, respinge l'elettrico omonimo, che si disperde nel suolo, ed attrae quello di nome contrario, con cui si vincola. Una nuova quantità di elettrico può quindi passare nel collettore, che accumula nel condensatore un'altra quantità d'elettricità contraria, e così di seguito; ond'è, che dopo avere ripetuto molti contatti, tolto via il collettore, l'elettrico del condensatore addivenuto libero passa nelle paglie, e le fa divergere.

CAPO VII.

ELETTRICITÀ ATMOSFERICA

343. Esperimenti di Franklin. — Fu Beniamino Franklin il primo che ha dimostrato l'atmosfera e specialmente le nubi temporalesche essere cariche d'elettricità. Nel luglio 1752 si portò in compagnia di un suo figlio fuori della città di Filadelfia, essendo il cielo coperto di nubi temporalesche. Portava seco un così detto *cervo volante* il quale consiste in un pezzo di tela incerata o carta tesa in una leggera cornicetta di forma romboidale. Aveva Franklin attaccato alla sommità di questa cornice una punta metallica, ed aveva legato l'apparecchio all'estremo di un lungo filo di lino, materia deferente. Lasciato libero il cervo volante, fu questo portato in alto dal vento: legò allora l'altro estremo del filo ad una chiave, e la chiave ad un cordone di seta, destinato a tenere isolato l'apparecchio, ed il detto cordone legò ad un albero. Avendo presentato un corpo conduttore alla chiave, non ottenne di trarne scintille elettriche, come sperava; ma essendo caduta una leggiera pioggia, che col bagnare il filo di lino lo rese più buon conduttore, potè Franklin trarre dalla chiave scintille numerose. Il celebre fisico ne rimase sommamente commosso, e come egli stesso ebbe a confessare, versò lagrime nel vedere verificate le sue congetture. Quasi contemporaneamente Dalibard dietro indicazioni dello stesso Franklin aveva elevato a Marley un'alta sbarra di ferro terminante in punta ed isolata. Allorchè al disopra di questa passavano nubi procellose, dall'asta si traevano numerose scintille. Anche De-Romas lanciò tra le nubi un cervo volante tenuto con una corda metallica, e ne ottenne scintille lunghe tre metri accompagnate da fragore consimile ad un colpo di pistola.

344. Elettrometro atmosferico. — Per constatare la presenza dell'elettricità nell'atmosfera si usano speciali elettrometri, il più semplice dei quali è quello di Saussure, che è formato d'un elettrometro comune a pagliuzze, il quale invece di avere nel suo estremo superiore un bottone, termina in una punta metallica alta circa un metro. Questo elettrometro deve essere collocato in alto in un luogo non dominato da altri edifizii. L'elettricità dell'atmosfera agisce sull'asta metallica, ne decompone il fluido neutro, attira l'elettricità contraria che sfugge dalla cuspide, e respinge l'omonima, che va a dar mostra di sè nelle paglie.

345. Stato elettrico dell'atmosfera e delle nubi. — Cogli elettrometri atmosferici si è trovato, che se il cielo è sereno, l'at-

mosfera è carica positivamente, ed il Belli all'influenza di tale elettricità atmosferica attribuisce lo stato elettrico negativo delle gocciole d'acqua delle cascate, le quali gocciole nel cadere si separano dalla massa liquida. Se il cielo è coperto di nubi, l'elettricità atmosferica ora è positiva, ora negativa; cambia questa spesso di segno durante un temporale, una pioggia, e suole essere positiva in tempo di nebbia, che non sciolgasi in pioggia. Le nubi procellose sono fortissimamente elettrizzate, altre in più, altre in meno, e queste nubi si distinguono dalle altre per i seguenti segni. Si veggono esse per lo più sorgere verso il mezzogiorno, e sono di colore oscuro: si vanno continuamente agitando nell'aria e cambiano di figura: si osserva sollevarsi dalle cime dei monti un vapore bianco, e se vi sono in alto delle spranghe metalliche terminanti in punta, come le croci dei campanili, le cuspidi degli alberi delle navi, qualche volta si veggono queste fornite di fiocchi o di stelle luminose, che diconsi *fuochi di Sant'Elmo*, e che indicano l'azione dell'elettricità sul fluido della spranga.

346. Causa della carica delle nubi. — Molte ipotesi si sono ideate per spiegare la grandissima tensione elettrica delle nubi temporalesche: la più probabile sembra essere la seguente. Allorquando evapora l'acqua, se questa contiene un sale, il vapore mostrasi elettrizzato positivamente. Il vapore adunque dell'atmosfera, essendosi sollevato dal mare, deve esserne carico per eccesso, ed il fluido elettrico, secondo la nota legge (303), deve trovarsi diffuso nella superficie di ciascun globetto di vapore. Tale elettricità però conviene che abbia una tensione insensibile, poichè in caso contrario essi globetti si respingerebbero a vicenda, e non potrebbero mai unirsi fra di loro e formare la nube. Allorchè poi questa si forma, l'elettrico dei singoli globetti andrà tutta a diffondersi nella superficie della nuvola, la quale superficie è assai minore della somma di quelle dei singoli globi, e per ciò la tensione elettrica deve crescere grandemente. S'immagini ora, che una nube carica per la ragione suddetta di elettricità positiva si trovi al disopra di un'altra, che sia al contatto della cima di un monte. Questa risentirà l'influenza di quella, il suo fluido positivo sarà respinto e disperso nel suolo, e quando siasi sollevata dalla terra, si mostrerà carica di elettricità negativa.

347. Lampo. — Se due nubi cariche d'opposte elettricità si stanno di fronte, l'una di esse attrae l'altra, e perciò si corrono incontro, e quando la loro distanza è divenuta tale che l'aria frapposta non sia più valevole a tenere separati i due contrari fluidi, quello che sovrabbonda in una si scaglia sull'altra in forma di una grande scintilla tortuosa e luminosissima, che dicesi *lampo*, ed è seguita da una prolungata esplosione, la quale appellasi *tuono:* si dà poi il nome di *saetta* o *fulmine* all'elettricità, che così passa da un punto ad un un altro. Si è altrove notato (314) essere la coibenza dell'aria la causa del serpeggiare della scarica elettrica. Oltre al descritto lampo, che sembra una lingua di fuoco serpeggiante e ben definita, vi sono altre tre specie di lampi: 1° lampi, che invece di essere lineari, illuminano tutto l'orizzonte senza presentare alcun contorno apparente, e sono simili allo

splendore improvviso prodotto dall'esplosione di materie infiammabili. Si crede che questi lampi nascano da scariche, le quali avvengono al di dietro di una nube e di cui si vede solo il riflesso. 2ª Lampi detti di *calore*, perchè brillano all'orizzonte nelle notti d'estate e non sono accompagnati da tuoni, e questi si attribuiscono ad accensioni di gas idrogene, od al riflesso di lampi ordinarii, che scoccano al disotto dell'orizzonte a tale distanza che il tuono non può giungere al nostro orecchio; 3ª lampi ben rari, che compariscono sotto forma di globi di fuoco, i quali alle volte rimangono visibili per molti secondi, discendono dalle nubi sulla terra assai lentamente, spesso rimbalzano dal suolo e talvolta scoppiano con fragore paragonabile alla detonazione di parecchi pezzi d'artiglieria. Non è ancora ben nota la natura di tali lampi.

Spesso avviene che i lampi della prima specie abbiano una lunghezza di molti chilometri, la quale lunghezza non può spiegarsi col dire, che l'elettricità ha attraversato tutta quella distanza direttamente, mentre le più potenti macchine elettriche non danno scintille lunghe che pochi metri. La ragione di sì straordinaria lunghezza sembra essere la seguente. Molte nubi A, B, C, D (fig. 185) siano le une vicine alle altre. Essendo A carica positivamente agirà per influenza su B, attirando verso sè l'elettricità negativa e respingendo la positiva che andrà ad agire sul fluido neutro di C, e così di seguito. Quando succede la combinazione dell'elettricità positiva di A colla negativa di B, succederà parimente una consimile ricombinazione fra i fluidi nelle altre nubi, ed in tal modo apparirà una lunga scintilla, che risulta dall'aggregato di molte altre ma corte. Si ottiene artificialmente un somigliante fenomeno col *tubo scintillante*. Nella superficie d'un tubo di vetro si dispongono in linea spirale ed a breve distanza fra loro piccole losanghe di lama metallica. Alle estremità del tubo vi sono due guarniture di metallo, una delle quali è messa in comunicazione col suolo mentre l'altra si dispone a piccola distanza dal conduttore della macchina elettrica. Posta questa in attività, ha luogo una lunga scintilla spirale risultante dall'insieme di molte scintille che scoccano fra le successive losanghe.

348. Tuono. — Il tuono risulta dallo scuotimento dell'aria solcata dall'elettricità. Quantunque esso scuotimento sia sempre simultaneo al lampo, pure il fragore si sente parecchi secondi dopo l'apparire della luce: il quale ritardo proviene da che il suono percorre soltanto metri 340 circa al secondo ad una media temperatura (230), mentre la luce impiega un tempo inapprezzabile per giungere dalla nube all'occhio dell'osservatore, il quale per conseguenza non comincia ad udire il tuono se non dopo tanti secondi dall'apparire del lampo, quante volte 340 metri sono contenuti nella distanza che lo separa dalla nube. Se la scarica elettrica succede a piccola distanza da noi, il tuono è brusco e di breve durata, ma se quella avviene a distanza notevole il fragore è prolungato e d'assai varia intensità. Alcuni attribuiscono tale prolungamento ed incostanza d'intensità alla riflessione del tuono sulle nubi e sulla terra; altri considerano il fulmine non come un'istantanea scarica, ma come una serie di scariche successive,

ciascuna delle quali produce una detonazione particolare. Queste cause possono insieme aver parte nel fenomeno, ma la causa principale di esso deve dirsi essere la via tortuosa e lunga che percorre l'elettrico. Sia in O (fig. 186) un osservatore ed ABCDE rappresenti la strada percorsa dal fulmine. I raggi sonori non giungeranno nel medesimo tempo all'orecchio dell'osservatore, ma prima vi perverranno quelli che partono da A e poi via via gli altri. I raggi poi che provengono dai punti che circondano l'angolo B arriveranno tutti contemporaneamente, onde si avrà un rinforzo di fragore. Un aumento pure si avrà quando giungono all'orecchio i raggi partiti da punti diversi, ma collocati ad egual distanza da O, ad esempio i raggi provenienti da B, C.

349. Fulmine. — L'elettricità non solo si scarica da nube a nube, ma spesso dalla nube alla terra. Invero se una nuvola carica di elettricità positiva non disti molto dal suolo, eserciterà la sua influenza sul fluido naturale del sottoposto terreno, il quale rimarrà carico di elettricità negativa. Quando la coibenza dell'aria non è più bastante a tener separati i due fluidi, l'elettrico positivo della nube si scarica sul suolo, producendo il *fulmine discendente*. Che se al contrario la nube è elettrizzata in meno, il suolo per influenza si carica in più ed in questo caso l'elettrico positivo passa dal terreno alla nuvola ed il fulmine è *ascendente*.

350. Effetti del fulmine. — Il fulmine colpisce a preferenza i luoghi elevati ed acuminati ed i buoni conduttori, e quindi è cosa pericolosa il collocarsi durante il temporale sotto gli alberi, le torri ed i camini. Terribili sono i suoi effetti. Esso va per la via più retta, ma spesso addensandosi e subendo, come dice il Belli, un ristagno od un ingorgo, torna indietro, dividesi in più parti e lascia in luoghi distanti traccia di sè. Nel suo passaggio aumenta istantaneamente la temperatura in modo da fondere i non grossi fili di ferro e vetrificare la silice, trovandosene sotto il suolo fulminato dei coni di notevole lunghezza. Ha il fulmine un'immensa forza di espansione, onde scheggia gli alberi, spezza le pietre, abbatte edifici, e penetrando nel corpo d'un animale gli dà la morte. Alle volte il colpito dal fulmine rimane del tutto incenerito, alle volte presenta delle scottature, spesso non si scorge nel cadavere alcuna lesione. Flammarion narra molti fatti assai singolari: alcuni colpiti dalla scarica elettrica si sono trovati denudati del tutto senza provare altro danno; ad altri il fulmine ha bruciate le vesti ed il corpo è rimasto totalmente illeso, mentre ad altri ha bruciata la cute essendo rimaste intatte le vesti.

351. Controcolpo. — Non rimane vittima del fulmine solamente chi ne resta colpito, ma spesso muoiono anche quelli che si trovano in vicinanza del luogo ove avviene la scarica elettrica: anzi può avvenire la morte di un individuo senza che cada la folgore, bastando che scocchi la saetta tra nubi poco elevate. Avvicinandosi invero una nube temporalesca alla terra, non solo colla sua influenza attua il fluido naturale del suolo sottoposto, ma ancora quello degli individui che ivi si trovano, attraendo verso la loro testa l'elettrico di nome contrario al suo e respingendo verso i piedi quello dello stesso nome senza che essi se ne

avveggano. Ma allorchè la nube si scarica dell'elettricità, scagliandola o sul suolo o su di un'altra nube, le elettricità accidentali si ricombinano con somma violenza, arrecando spesso la morte. Al detto fenomeno dassi il nome di *controcolpo* o *scossa di ritorno*.

352. Parafulmine. — A preservare gli edifizi dai terribili effetti del fulmine, Franklin inventò il *parafulmine*, il quale è formato di un'asta metallica piantata nella sommità dell'edificio e terminante in punta, la quale asta per mezzo di una catena o verga, pure di metallo, è posta in comunicazione perfetta col suolo. Una commissione incaricata dall'Accademia di Francia e composta dei due Becquerel, Babinet, Duhamel, Fizeau, Régnault, Povillet e Veillant ha studiato, non sono molti anni, le condizioni di un buon parafulmine. Secondo la detta commissione il parafulmine dev'essere così formato: costruito un pilastro sopra l'edificio, su questo va piantata l'*asta* che è costituita da una sbarra arrotondata di ferro, la quale nella sua estremità superiore ha un diametro di 2 centimetri e di 4 nell'estremo inferiore. La detta asta, a cui si dà una lunghezza varia dai 3 ai 10 metri, termina in alto con un cilindro di rame avente un diametro di 2 centimetri ed un'altezza di 20 a 25 centimetri e la sommità di questo è affilata in modo da formare un cono di 4 centimetri di altezza. Il menzionato cilindro di rame è avvitato alla sbarra e saldato con essa. Il *conduttore* che deve stabilire la comunicazione dell'asta col suolo è formato da sbarre di ferro di sezione quadrata con un lato di 15 millimetri saldate a stagno l'una coll'altra. Nell'estremo superiore esso conduttore termina in forma cilindrica e s'introduce in un foro praticato nell'asta, ed uscendo dalla parte opposta, vi è tenuto fermo da una madrevite: la superficie poi del pezzo introdotto nel foro si fa stare a contatto colle pareti di questo per mezzo di saldatura a stagno. Si distende il conduttore lungo il tetto e le pareti dell'edifizio piegandosi negli angoli in forma arrotondata, la qual forma tende a compensare le variazioni di lunghezza provenienti dai cambiamenti di temperatura. Le sbarre sono rette da forchette di ferro che permettono il loro scorrimento longitudinale, impedendo però i movimenti laterali. Tutti gli oggetti metallici come le grondaie, le chiavarde, le inferriate, ecc., debbono comunicare col conduttore per mezzo di grossi fili di ferro. È cosa di somma importanza lo stabilire il più perfetto contatto tra il conduttore ed il suolo; quindi è bene il fare terminare l'asta in un pozzo ove siavi costantemente acqua di vena. La parte del conduttore che scende nel pozzo si fa di ferro avente 2 centimetri di lato. Alla sua estremità inferiore si attaccano 4 radici di ferro lunghe circa 60 centimetri e ciascuna si salda ad una delle facce del conduttore. La parte verticale di questo, che è introdotta nel pozzo, deve essere sostenuta alla bocca di esso con una traversa bastantemente forte affinchè le radici peschino nell'acqua, ma in modo che il peso considerevole di questa parte del conduttore non faccia gravitare le radici nel pozzo immergendole nella melma. Tranne le radici e la parte del conduttore immersa nell'acqua, il resto di questo e l'asta potranno rivestirsi di vernice adatta a di-

fenderli dalle azioni atmosferiche. Si dovrà di tanto in tanto osservare l'altezza dell'acqua nel pozzo per verificare se le radici pescano in essa. Si dovrà pure di tempo in tempo esaminare lo stato del ferro immerso, il quale da certe acque può essere assai corroso in capo di 4 o 5 anni. In mancanza d'acqua il conduttore si può far terminare in una guida di ferro della ferrovia.

Il ch. P. Cecchi ha verificato che la punta di rame, costruita come si è detto, ha pochissimo potere preventivo, di cui si parlerà da qui a poco, e perciò egli fa terminare l'asta del parafulmine in cinque punte di rame, ciascuna delle quali porta alla sua cuspide un filo di platino affilato come un ago. Usa egli poi per conduttore un unico filo di rame di 7 od 8 millimetri di diametro e che termina in un pettine pure di rame immerso nell'acqua.

353. Teoria del parafulmine. — Si supponga che una nube procellosa carica, ad esempio, di elettricità positiva passi sopra ad un parafulmine. Questa decomporrà per influenza il fluido naturale dell'asta e del conduttore, respingerà nel suolo l'elettrico positivo ed attrarrà l'altro, che nella massima quantità si accumulerà nella punta dell'asta (313). Ivi per la sua gran tensione non potrà essere trattenuto dalla coibenza dell'aria, ma se ne partirà per recarsi attraverso dell'aria a neutralizzare l'elettrico della nube, la quale per ciò verrà poco a poco a scaricarsi. Tale passaggio dell'elettrico dalla punta alla nuvola è qualche volta visibile, producendosi il fuoco di Sant'Elmo (345). Il Beccaria ha mostrato che durante un temporale l'elettricità abbondantemente scorre per il parafulmine col fare una piccola interruzione sull'asta di questo, la quale interruzione, allorchè una nube temporalesca passa sopra all'asta, è di continuo attraversata da scintille elettriche. La tacita scarica della nube è favorita ancora dall'aria atmosferica, che stando a contatto della punta, si elettrizza omologamente ad essa e per conseguenza ne è respinta, e si porta alla nube la quale neutralizza col suo elettrico. Questa proprietà dei parafulmini di scaricare le nubi insensibilmente si appella *potere preventivo*. Non è questo il maggior vantaggio che i parafulmini arrecano: ma l'utilità maggiore che essi apportano è che, venendo dalla nube scagliato il fulmine, questo colpisce la punta e per mezzo dell'asta e del conduttore innocuamente si disperde nel suolo. Secondo Gay-Lussac un parafulmine protegge una superficie racchiusa in una periferia il cui raggio è il doppio dell'altezza dell'asta. Quando adunque un edifizio presenta una superficie maggiore bisogna munirlo di più aste collocate a debite distanze, le quali aste possono essere tutte poste in comunicazione con un medesimo conduttore. Si deve poi notare essere meglio moltiplicare le aste, che accrescere soverchiamente l'altezza di ciascuna di esse.

CAPO VIII.

FENOMENI MAGNETICI

354. Magnete naturale e sue proprietà. — Prima di parlare di altri fenomeni elettrici è bene di esporre i magnetici, i quali con quelli hanno stretta relazione. Dicesi *magnete* o *calamita naturale* un minerale di colore oscuro, che è un ossido di ferro e che ha le tre seguenti proprietà: 1ª attrae alcuni metalli e specialmente il ferro, il cobalto ed il nichelio; 2ª quando possa girare liberamente sopra di sè, dirige costantemente due suoi punti verso i poli del mondo; 3ª può comunicare le sue prerogative al ferro.

355. Attrazione della calamita. — Una magnete posta vicina ad uno dei suddetti metalli esercita su questo una forza di attrazione non egualmente intensa in tutti i punti della medesima, ma più energica in due che diconsi *poli;* e siccome questi due punti sono le parti che costantemente rivolge una al sud, l'altra al nord dell'orizzonte, così il primo si suole chiamare *polo sud* o *australe* e l'altro *polo nord* o *boreale.* È però da avvertirsi che molti fisici francesi ed inglesi, per ragioni da dirsi in appresso (359), chiamano polo nord quello che si volge al sud e polo sud quello che si dirige al nord. Interessa molto il determinare i poli di una magnete informe; il che si ottiene coll'immergere la calamita nella limatura di ferro, la quale si va ad attaccare in tutta la superficie di essa, ma assai più nei punti corrispondenti ai poli in cui essa si aggruppa formando due fiocchi. Riconosciuti i poli d'una magnete, si accresce di molto la sua energia coll'*armarla.* Si appianano i punti corrispondenti ai poli, ed ivi con fasce di rame si annettono due appendici parallelepipede o cilindriche di ferro dolce curve in modo che gli estremi di esse, i quali non sono a contatto della magnete, vadano a terminare in un medesimo piano. Nei punti estremi delle dette due appendici si manifestano le proprietà che altrimenti risiederebbero nei poli. Presentata agli estremi delle appendici una sbarra di ferro, che suol chiamarsi *àncora*, viene questa attratta con una forza da 60 ad 80 volte maggiore di quella che eserciterebbe la magnete se non fosse armata.

Se si pongano di fronte fra loro due poli di nome contrario di due calamite, queste si attraggono, ma al contrario si respingono quando i poli messi di fronte siano dello stesso nome. Le dette forze di attrazione e ripulsione agiscono anche a distanza, ma con

un'intensità, che è nella ragione inversa della distanza stessa, come ha provato Coulomb colla sua bilancia di torsione (301), nella quale ai due globi elettrizzati sostituì due aghi magnetici.

356. Declinazione della calamita. — Abbiamo accennato, che una calamita appesa orizzontalmente ad un filo o sostenuta da un perno rivolge costantemente un suo polo al nord dell'orizzonte e l'altro al sud. Ciò ha dato luogo all'invenzione della *bussola dei naviganti* consistente in un ago calamitato, il quale per lo più ha la figura di un rombo, chiuso in una scatola cilindrica di ottone, il cui coperchio è di cristallo. Essendo l'ago sostenuto nella posizione orizzontale, indica sempre la posizione dei poli del mondo, sicchè possono i naviganti orizzontarsi e guidare la nave senza pericolo di sbagliare la direzione del loro cammino. Si deve però notare che i poli della calamita non stanno perfettamente di fronte ai poli terrestri. Una linea che si conduca in una magnete da un polo all'altro dicesi *asse magnetico*, ed *equatore magnetico* un piano che sia perpendicolare al detto asse e lo divida in due parti eguali: si appella infine *meridiano magnetico* un piano verticale che passi per i poli della calamita. Ora diciamo, che in pochissimi luoghi del mondo il meridiano magnetico coincide col terrestre; ma nella massima parte dei luoghi l'ago calamitato volge il suo polo nord alquanto o a destra o a sinistra del nord del mondo. L'angolo orizzontale, che si forma dall'incrociamento dell'asse magnetico con una linea diretta dal sud al nord dell'orizzonte, dicesi *angolo di declinazione* e si misura colla *bussola di declinazione*, la quale consiste in un cerchio graduato orizzontale, avente lo zero al vero nord, e dal cui centro sorge una punta, sulla quale poggia un ago calamitato. L'angolo di declinazione è diverso nei diversi punti della superficie terrestre. Andando dal nord al sud, i viaggiatori hanno trovato molti successivi luoghi formanti alcune linee sinuose irregolari, nei quali la declinazione è zero. Fuori di queste linee la declinazione è o verso est, o verso ovest; in Europa presentemente la declinazione è occidentale, ed in Camerino è di 12°, 30'. Ma anche in un medesimo luogo la declinazione varia col decorrere degli anni in modo che un poco alla volta dall'essere occidentale può addivenire orientale. Fa pure l'ago calamitato piccole oscillazioni nel corso d'un giorno: in Europa il polo boreale della calamita aumenta la declinazione all'ovest dal levare del sole fino a mezzo giorno, ed anche fino a due o tre ore pomeridiane, quindi retrocede fin presso alle 8 della sera, e nella notte rimane stazionaria. Il primo che si accorse della declinazione fu Cristoforo Colombo, il quale la osservò nel 1492 quando attraversò l'oceano diretto alla scoperta del nuovo mondo.

357. Inclinazione della calamita. — Dopo 83 anni dalla scoperta della declinazione l'inglese Normann si avvide dell'*inclinazione* dell'ago magnetico. Si ponga in un perno un ago non calamitato in modo che rimanga perfettamente orizzontale. Se di poi questo si calamita, si vede che non conserva più la posizione orizzontale, ma abbassa verso il suolo il polo rivolto al nord, se l'esperimento si fa nell'emisfero boreale, ed il polo sud, quando l'ago trovasi nell'emisfero australe. L'angolo formato da una linea

orizzontale e dalla direzione dell'ago magnetico si chiama *angolo d'inclinazione*, il quale si misura colla *bussola d'inclinazione* consistente in un cerchio graduato verticale posto parallelamente al meridiano magnetico, nel cui centro avvi una punta orizzontale la quale infilza nel centro di gravità un ago magnetico in modo, che questo possa liberamente girare in un piano verticale. Lo zero della graduazione deve corrispondere all'estremo rivolto al nord del diametro orizzontale. I punti della terra, in cui l'inclinazione è zero, formano l'equatore magnetico del mondo, e questo non coincide perfettamente coll'equatore terrestre, ma forma una linea sinuosa irregolare, che in più punti l'interseca. Partendo dall'equatore magnetico ed andando verso i poli, cresce sempre più l'inclinazione, la quale non è costante nemmeno in un istesso luogo ma ora cresce, ora scema.

358. Magnetizzazione delle sbarre d'acciajo. — Secondo Gilbert fu nel 1590 che Giulio Cesare chirurgo di Rimini si avvide, che il ferro poteva calamitarsi, sfregandolo con una magnete. Il ferro dolce con tutta facilità si calamita, ma non appena si allontana la magnete, che eccitò in esso il magnetismo, perde in un subito l'acquistata proprietà. Non così avviene nell'acciajo, il quale esige maggior tempo per essere calamitato, ma una volta preso lo stato magnetico, costantemente lo ritiene. L'attitudine di una sbarra a conservare l'acquistato magnetismo si suol chiamare *forza coercitiva*, e si dice essere essa sbarra calamitata a *saturazione*, quando ha acquistata tutta la potenza magnetica, di cui è capace. Per calamitare poi una sbarra di acciajo per mezzo delle magneti si hanno i tre metodi seguenti:

1° Metodo del *semplice contatto*. Questo consiste nel fare scorrere un polo d'una forte calamita da un capo all'altro della spranga che si vuole magnetizzare, ripetendo più volte lo sfregamento ma sempre nella stessa direzione. La parte della verga in cui termina questo, acquista il polo contrario a quello, con cui si è operato, e la parte in cui incomincia prende il polo dello stesso nome. Tale processo comunica all'acciajo poca forza magnetica, e per ciò non è usato che per piccole sbarre, oltre di che ha l'inconveniente di produrre facilmente tra i due poli principali altri poli, ai quali si dà il nome di *punti conseguenti*.

2° Metodo del *contatto separato*. Si collocano due poli contrarii di due calamite di egual forza nel mezzo della sbarra da magnetizzarsi, e tenendo le due magneti verticalmente, si fanno contemporaneamente scorrere una verso un estremo, e l'altra verso l'altro. In seguito si porta di nuovo ciascuna calamita nel mezzo della verga, badando di non passar mai colle magneti sopra essa in direzione contraria a quella, secondo cui si fa lo sfregamento. Dopo parecchie consimili frizioni praticate sulle due facce opposte della sbarra, questa è magnetizzata, e ciascun estremo ha il polo di nome contrario a quello col quale è stato operato dalla sua parte. Duhamel ha perfezionato il presente metodo, collocando i due estremi della sbarra da calamitarsi sopra due poli contrarii di due calamite. Bisogna però, che il polo, su cui riposa un estremo della sbarra, sia del medesimo nome di quello, col quale si fa in

essa parte la frizione. Tale processo è quello, che produce la magnetizzazione la più regolare.

3° Metodo del *doppio contatto*. Secondo questo metodo ideato da Michel e perfezionato da Epino si deve operare nel seguente modo. Sopra i poli di nome contrario S, N (fig. 187) di due calamite si fanno riposare gli estremi N', S' della sbarra da magnetizzarsi. Si tengono in mano due altre calamite, e si presentano alla sbarra i poli S'', N'' ciascuno omologo a quello, su cui riposa la verga dalla sua parte. I detti due poli delle calamite tenute in mano sono mantenuti fra di loro a distanza fissa per mezzo di un piccolo pezzo di legno, e si tengono così inclinate le calamite da fare colla sbarra gli angoli *m*, *n* di 15° a 20°. Collocati i poli S'', N'' in mezzo alla verga si fanno scorrere sempre insieme uniti dal mezzo ad una estremità, quindi da questa all'altra, e così di seguito si portano su e giù in modo che ciascuna metà della verga riceva lo stesso numero di frizioni. Con tal metodo si ottengono delle spranghe fortemente magnetizzate, ma si producono spesso punti conseguenti.

Nei sopradescritti metodi invece di usare semplici calamite è utile di servirsi di *fasci magnetici* o *magazzini magnetici*, che consistono in più sbarre di acciaio magnetizzato e sovrapposte le une alle altre in guisa da avere da una medesima parte tutti i poli nord e dall'altra i poli sud. Per aver poi ambedue i poli di una calamita artificiale o di un fascio magnetico rivolti al corpo che si vuole fare attrarre si sogliono curvare le verghe d'acciaio a ferro di cavallo.

Ma non solo colle calamite le sbarre d'acciaio si possono magnetizzare, sibbene con altri modi, e primieramente colle correnti elettriche, come diremo in altro luogo (406). Il professore Morichini ha magnetizzato aghi d'acciaio ponendo questi nella situazione che prende un ago calamitato libero, e facendovi passar sopra ripetute volte il raggio violetto dello spettro solare (781). Forse perchè sono colpite dalla sferza solare si magnetizzano naturalmente le verghe di acciaio che sono state fisse per lungo tempo in un luogo elevato in posizione verticale o poco inclinata; le quali verghe pure si magnetizzano spesso se sono colpite dal fulmine. Gli strumenti d'acciaio, che si adoperano dagli artisti, sovente per i subìti attriti acquistano il potere magnetico.

359. Antica teoria del magnetismo. — Vedremo in altro luogo (415) come ai nostri giorni si spieghino i fenomeni magnetici, ora diciamo come questi anticamente venissero spiegati. Si riteneva esistere in natura due fluidi magnetici imponderabili, detti uno *fluido australe* e l'altro *boreale*, i quali tendono a combinarsi insieme formando il fluido magnetico *neutro*, che trovasi diffuso in alcuni minerali, come ferro, cobalto e nichelio. Finchè i due fluidi sono fra di loro combinati non producono fenomeni magnetici, i quali allora hanno luogo quando per una causa qualunque si separano, investendo l'uno una parte del corpo, ove si forma un polo, ed andando l'altro a formare il secondo polo in un'altra parte del corpo. Si asseriva che le molecole di uno stesso fluido magnetico si respingono mentre si attraggono quelle dei fluidi di nome di-

verso. Le attrazioni e ripulsioni venivano pertanto spiegate come si spiegano i consimili fenomeni elettrici. Per dare poi ragione della proprietà che ha una calamita di rivolgere i due poli a quelli della terra si ammise essere il nostro globo un'immensa magnete; per il che il polo nord del mondo deve attrarre quello di nome contrario delle calamite; questa è la ragione per la quale molti fisici francesi ed inglesi, come dicemmo (355), amano di chiamare polo sud quello che si rivolge al nord, e polo nord quella parte d'una magnete che si dirige al sud.

360. Forza direttrice della terra. — È veramente la terra quella che fa prendere ad un corpo magnetizzato una determinata direzione, da cui spostato, esso tende subito a riprenderla. Siccome però la calamita lasciata libera non si avanza nè verso il sud nè verso il nord; se ne deduce che la forza esercitata dalla terra sulle magneti non è una forza attraente ma solo una *forza direttrice*. Tal forza è stata da molti fisici misurata, e dai loro studi è risultato estendersi essa a grandi altezze dal livello del mare senza variazione sensibile d'intensità e decrescere se si proceda dall'equatore ai poli.

361. Diamagnetismo. — Si è creduto per lunghissimo tempo che le calamite agissero soltanto su poche sostanze, come ferro, cobalto e nichelio; ma Coulomb si accorse che le magneti agiscono su tutti i corpi in gradi più o meno sensibili. Faraday avendo istituito esatte ricerche sopra un numero di sostanze, trovò che molte si comportano come il ferro verso un polo magnetico potente, cioè sono da questo attratte, tali sono l'asbesto, lo spato fluore, il cinabro, il carbone di legno, la carta, la ceralacca, la guttaperca ecc. Anche l'ossigeno deve numerarsi tra queste sostanze. All'incontro vide che altri corpi, e sono i più, esposti avanti ai poli di un'energica calamita, si contengono precisamente nel modo contrario al detto, cioè vengono dalla calamita respinti. Questi ultimi sono chiamati corpi *diamagnetici* ed i primi *paramagnetici*. Se tra i poli di una magnete piegata a ferro di cavallo viene sospeso ad un filo un corpo paramagnetico ridotto a forma di piccola asta, come un ago di declinazione, questo prende la posizione *assiale*, vale a dire il suo asse longitudinale si dispone nella direzione della retta, che congiunge i poli della calamita. Al contrario un'asta di sostanza diamagnetica si dispone col detto asse in direzione perpendicolare alla linea congiungente i due poli, la qual posizione si chiama *equatoriale*.La posizione assiale per un'asta diamagnetica è posizione di equilibrio instabile (50), e lo stesso deve dirsi della posizione equatoriale per un'asta paramagnetica. È poi da notarsi che sul magnetismo o paramagnetismo di un corpo influisce grandemente il mezzo in cui quello è immerso, di maniera che una sostanza diamagnetica in un mezzo può addivenire paramagnetica in un altro. Ad esempio, se un piccolo tubo di vetro si empia con una soluzione diluita di solfato di ferro, trovasi che questo corpo nell'aria è paramagnetico, ma immerso in una soluzione concentrata dello stesso sale è diamagnetico. Dalla qual cosa argomentò Edmondo Becquerel, che il diamagnetismo non è una proprietà diversa dal paramagnetismo, mentre deve ritenersi le forti calamite esercitare

l'attrazione su tutti i corpi. Che se le sostanze, che diciamo diamagnetiche, ci sembrano respinte dalle calamite, ciò avviene perchè si trovano in un mezzo più fortemente attratto di esse; il quale per conseguenza, portandosi con più energia verso la calamita, ne allontana quei corpi che meno ne risentono l'azione.

CAPO IX.

PILA DI VOLTA

362. *Esperimenti di Galvani* — 363. *Esperimenti di Volta* — 364. *Pila di Volta* — 365. *Sua teoria fisica* — 366. *Teoria chimica* — 367. *Esperimenti di Peltier* — 368. *Esperimenti di Faraday* — 369. *Esperimenti di Pfaff.*

362. Esperimenti di Galvani. — Verso il fine dello scorso secolo il professore Luigi Galvani di Bologna si avvide che il corpo di una rana recentemente uccisa col contrarsi dava segno della presenza di una minima quantità d'elettrico. Pensò quindi di servirsi di quest'estrema sensibilità elettrica per constatare l'esistenza dell'elettricità nell'atmosfera. Appese a tal fine una rana testè uccisa ad una punta metallica, ed avendola esposta all'aria libera un giorno in cui il cielo era coperto di nubi procellose, vide energicamente contrarsi il corpo della rana. Volle quindi sperimentare se avevano luogo le contrazioni senza l'uso della punta metallica, ed a tal uopo appese molte rane ad uncini di rame, e con questi le attaccò lungo una sbarra di ferro. Vide allora che non si verificavano le dette contrazioni, se non nell'atto, in cui l'uncino si metteva in contatto colla verga di ferro. Bene argomentò da tal fatto non potersi attribuire le commozioni all'elettricità atmosferica; onde a spiegare il fenomeno si pose a fare molti esperimenti di cui il principale è il seguente. *Armò* una rana, cioè appena uccisa, le tolse la pelle, gli intestini e la parte superiore del corpo: conservò i muscoli crurali, e pose a nudo gli estremi dei nervi di questi muscoli attaccati a due o tre vertebre spinali: adattò un dischetto di zinco ad un muscolo crurale, ed un altro di rame al nervo relativo, e posti in comunicazione i due dischi per mezzo di un arco metallico, vide subito avvenire la contrazione del muscolo. Osservò consimile fenomeno operando sopra altri animali a sangue freddo. Ammise dopo ciò il Galvani che ciascun muscolo di un animale a sangue freddo si trovi naturalmente carico di elettricità, come appunto trovasi carica una bottiglia di Leyda (324), positivamente nell'interno e negativamente nell'esterno, e che per conseguenza, ogni qual volta stabiliscasi la comunicazione tra l'interno ed esterno di un muscolo, il corpo dell'animale deve provare una commozione. Questa ipotesi prese gran voga: si dette il nome di

fluido galvanico all'elettricità propria degli animali a sangue freddo, e si appellò *galvanismo* l'esposta ipotesi.

363. Esperimenti di Volta. — Il galvanismo non fu ammesso dal prof. Alessandro Volta, il quale attribuiva i sopraesposti fenomeni ad elettricità svolta nel contatto dei metalli, elettricità che era bastante a produrre la contrazione dei muscoli della rana a cagione della somma eccitabilità di questi. Per dimostrare poi, svolgersi realmente l'elettrico nel contatto di due metalli, prese due dischi, uno di zinco e l'altro di rame, ben levigati e muniti di manichi di cristallo. Tenendoli uno per mano per mezzo dei detti sostegni isolanti, pose a contatto l'uno coll'altro, ed appressatili, dopo di averli separati, ad un elettrometro condensatore (342), vide che lo zinco si era elettrizzato positivamente, e negativamente il rame. Asseriva pertanto, eccitarsi nel contatto di due metalli una forza, per la quale si turba l'equilibrio dell'elettrico, sicchè un metallo si elettrizza in più, e l'altro in meno. Alla detta forza si dette il nome di *forza elettro-motrice* o di *elettrotismo*.

Aldini prese le difese di Galvani contro Volta, e credeva di averne riportata vittoria coi seguenti esperimenti. Empiuti due piccoli bicchieri con acqua acidulata, immerse in uno di essi le vertebre, e gli estremi dei nervi crurali, e fece pescare nell'altro l'estremità delle coscie d'una rana. Stabilendo quindi una comunicazione fra i due liquidi per mezzo di un arco metallico, osservò nella rana le solite contrazioni. Ottenne in secondo luogo queste commozioni, quantunque in minor grado, col far toccare il muscolo crurale della rana dall'estremo del relativo nervo. Conchiuse quindi che non succedendo in questi due casi il contatto fra due metalli, il fenomeno non poteva attribuirsi, che al ristabilimento dell'equilibrio dell'elettricità, la quale naturalmente carica il muscolo dell'animale. Non voleva poi concedere al Volta, svilupparsi l'elettrico nel contatto dei metalli, asserendo che i due stati elettrici opposti verificati nei due dischi di rame e zinco non provenivano già dal loro mutuo contatto, ma dal sofferto attrito.

Rispondeva il Volta, che gli esperimenti di Aldini, anzi che abbattere la sua teoria, le davano maggiore estensione, deducendosi da essi, l'elettricità svolgersi non solo nel contatto di due metalli, ma nel contatto di due sostanze di qualunque natura, purchè siano diverse fra loro o per se stesse, o per qualche modificazione accidentale subìta da una di loro. Per far veder poi, che nell'esperimento dei due dischi nessuna parte alla produzione dell'elettrico vi aveva l'attrito, fece egli saldare insieme un disco di rame ed uno di zinco, e tenendo quest'ultimo in contatto colla palma della sua mano, toccò col primo il piatto collettore, pure di rame, di un elettrometro-condensatore. Verificò che il disco di rame era elettrizzato negativamente, benchè nessun attrito potesse aver luogo tra i dischi. Fatto di poi comunicare colla palma della mano il disco di rame, toccò col disco di zinco il piatto collettore, e non ebbe alcun segno d'elettricità. Egli però conobbe, avvenir ciò, perchè l'elettrotismo nato dal contatto del disco di zinco col piatto di rame dell'elettrometro elideva l'elettrotismo contrario nato dal contatto del disco di rame con quello di zinco.

Avendo quindi interposto allo zinco ed al piatto collettore un disco di cartone bagnato con acqua acidulata, siccome la forza elettromotrice svolta per il contatto tra esso cartone e lo zinco è assai inferiore a quella sviluppata dal contatto dei due metalli, potè avere nel condensatore segni di elettricità positiva, che caricava lo zinco.

364. Pila di Volta. — Sopra al detto disco di cartone Volta pose un'altra coppia di dischi, e vide che in questa seconda coppia l'elettricità era doppia di quella che avevasi nella prima. Dispose quindi molte coppie le une sopra le altre, separate fra loro da dischi di cartone bagnato, e verificò che quanto maggiore era il numero di esse, tanto più grande era la quantità d'elettrico accumulata sull'ultimo disco di zinco. In tal modo pervenne Volta a formare la *pila* che porta il suo nome, prezioso apparecchio, che ha arrecato alla chimica, alla fisica, alla medicina, alla società intera incalcolabile utile, ed al suo illustre inventore fama immortale. Dall'esposto risulta consistere la Pila di Volta in una colonna formata d'un numero più o meno grande di *coppie* od *elementi*, ciascuno composto di due dischi di due metalli diversi, e separato dagli altri da strati umidi. Alle coppie metalliche si suol dare il nome di *conduttori di prima classe*, ed agli strati umidi quello di *conduttori di seconda classe*. Essendo stata misurata cogli elettroscopii l'elettricità svolta nei diversi metalli messi a contatto, si è trovato che essa non è eguale in tutti. Marianini e Povillet hanno formata una serie ordinata di diversi metalli, in cui la quantità di elettrico, che sviluppasi, formandoci una pila, è tanto più grande quanto più distanti sono tra di loro i due metalli presi, e sempre l'antecedente fa l'ufficio del rame, il conseguente dello zinco della pila poco fa descritta. La suddetta tavola è la seguente:

Oro. — Platino. — Mercurio puro. — Argento. — Arsenico. — Rame non risplendente. — Niccol. — Cobalto. — Rame splendente. Ottone. — Ferro. — Piombo. — Manganese. — Stagno. — Zinco. — Amalgama di zinco e stagno.

È poi da notarsi, che non si otterrebbe effetto maggiore, se invece di prendere due metalli distanti nelle serie, si assumessero anche gli intermedii, frapponendoli a quelli, come ancora, che è indifferente, che i due metalli si tocchino in un maggiore od in un minor numero di punti. I conduttori umidi, che si pongono tra gli elementi, possono esser dischi di panno o di cartone bagnati in una soluzione di sale comune, od in acqua contenente un ventesimo del suo peso di acido solforico o nitrico. Nella composizione delle pile i due metalli, che si assumono per formare la coppia, debbono essere sempre disposti nel medesimo ordine. Dicesi *polo negativo* il primo disco, che per la forza elettro-motrice si deve caricare negativamente, e *polo positivo* l'ultimo disco, in cui si accumula l'elettrico positivo sviluppato nella pila. L'apparato che si è descritto prende il nome di *pila a colonna*. Si esporranno in appresso le forme, le quali ora si sogliono dare all'apparecchio voltaico, ma prima è necessario occuparsi delle sue teorie.

365. Teoria fisica della pila. — A spiegare la carica della sua pila, Volta dette una teoria, che appellasi *teoria fisica*, secondo la quale l'elettrico in ogni elemento si svolge per il contatto dei

due metalli, e l'elettricità svolta passa agli elementi superiori attraverso i dischi bagnati, i quali non hanno altro officio, che di semplici conduttori. Ciò posto, due casi dovremo considerare, cioè, o che la pila comunichi col suolo col suo polo negativo, o che sia del tutto isolata. Sia in primo luogo comunicante col terreno, e venga rappresentata dalla figura 187 *bis*, in cui le linee più lunghe esprimono i dischi bagnati, le altre i dischi metallici. Supponiamo, che per il contatto fra i due metalli in ciascun elemento lo zinco riceva una quantità d'elettrico positivo espresso dall'unità. Lo zinco del primo elemento prenderà perciò elettricità positiva eguale ad *1*: il rame si elettrizzerebbe per difetto, se fosse isolato; ma comunicando col suolo, si deve trovare allo stato neutro, che indichiamo con zero. L'elettricità *1* acquistata dallo zinco passa per conduttricità a tutti i dischi superiori, e nondimeno lo stato elettrico dello zinco del primo elemento rimane sempre eguale ad *1*, perchè quanta elettricità esso comunica agli elementi superiori, tanta ne riprende (perchè dura l'elettrotismo) dal rame, e questo dal terreno. Il rame del secondo elemento adunque avrà uno stato elettrico espresso da *1*, ma l'elettricità dello zinco di esso secondo elemento sarà espressa da *2*, perchè oltre al grado acquistato per conduttricità e svolto per il contatto dei metalli della prima coppia, ne acquista un altro eguale per il suo contatto col rame. Dicendo lo stesso per gli altri elementi, si comprende che la carica dei singoli dischi è quella notata in figura. È chiaro inoltre, che se si aggiungano altre coppie, per nulla viene alterato lo stato elettrico degli elementi precedenti. Quindi è lecito conchiudere, che comunicando il polo negativo della pila col terreno, il primo disco di rame trovasi allo stato elettrico neutro, e tutti gli altri sono elettrizzati positivamente, crescendo la carica in ogni elemento secondo che questo si avvicina al polo positivo.

Ma se la pila è isolata, non potendo nulla riavere dal suolo, in essa non si avrà, che l'elettricità naturale decomposta, e per ciò se una metà dei dischi sarà carica per eccesso, l'altra metà lo dovrà essere per difetto. In vero si abbia una pila isolata d'un numero pari d'elementi; ad esempio di *6* (fig. 188): si chiami x l'elettricità del polo negativo ed *1* l'elettricità svolta in ogni contatto: le cariche dei singoli dischi saranno quelle espresse in N P, le quali cariche parziali sommate insieme ci debbono dare per risultato zero. Si avrà pertanto

$$12x + 36 = 0, \text{ da cui si ricava } x = -3$$

Sostituendo ad x un tale valore, le cariche dei dischi verranno ad essere quelle notate in N′ P′, e da ciò si dedurrà, che se il numero delle coppie è pari, un disco di zinco ed uno di rame, i quali sono precisamente alla metà della pila, si trovano allo stato elettrico naturale, e che gli altri, i quali equidistano dal mezzo, hanno egual grado di elettricità, ma di nome contrario, essendo carichi in più quelli posti verso il polo positivo, ed in meno quelli collocati verso il polo negativo.

Supponiamo in secondo luogo, che il numero delle coppie della

pila isolata sia dispari, ad esempio 7: la carica dei dischi sarà quella che vedesi notata in N P (fig. 189) e si avrà

$$14x+49=0, \text{ da cui si ricava } x=-\frac{7}{2}.$$

Sostituito questo valore nelle espressioni delle cariche dei singoli dischi, queste risulteranno come sono scritte in N' P' e si rende manifesto, che in questo caso nessun disco trovasi allo stato elettrico neutro, e che i dischi equidistanti dal mezzo sono carichi in egual grado di elettricità, ma di segno contrario.

Finalmente (fig. 190) si abbia una pila di un numero qualunque di elementi, e questa comunichi col suolo nel polo positivo P. Essendo ad esempio *6* le coppie, e chiamando con x l'elettricità del polo negativo N, la distribuzione della carica sarà, come è indicata in N P. Certo è che comunicando il polo positivo col terreno, il suo stato elettrico sarà il naturale; onde sarà

$$x+6=0, \; x=-6$$

Sostituendo questo valore, avremo le cariche parziali degli elementi come sono registrati in N' P'; cioè il polo positivo sarà allo stato neutro; tutti gli altri dischi saranno carichi negativamente, ed il grado della carica di ciascuno sarà tanto maggiore, quanto più questo sta vicino al polo negativo.

Notare qui si deve, che le leggi fin qui esposte non si vedono rigorosamente verificate in pratica a motivo dell'influenza dei dischi bagnati, che si sono considerati come inattivi.

366. Teoria chimica. — Come abbiamo detto nel paragrafo antecedente, secondo la teoria fisica l'elettricità nella pila sarebbe svolta dal contatto dei metalli, ed i liquidi servirebbero solo da conduttori. Tale teoria, ammessa per qualche tempo, fu poi abbandonata, ed in sua vece si è adottata la *teoria chimica* data dal Fabroni e sostenuta da Onofrio Davy, Faraday e da altri. Secondo questa non è il contatto dei metalli che genera l' elettricità, ma l'azione chimica che il liquido esercita sul metallo più intaccabile. Difatti è certo che quando un metallo è intaccato da un liquido esso prende l'elettricità negativa ed il liquido la positiva, il che si può dimostrare col seguente esperimento: Si ponga sul piatto superiore di un elettrometro-condensatore un vaso di platino contenente acqua acidulata con acido solforico, e mentre con una mano si tocca il piatto inferiore, coll'altra s'immerga nel liquido una verga di zinco. Tolto il piatto superiore, si vede l'elettrometro dar segni di elettricità negativa; la qual cosa indica essere il recipiente ed il liquido elettrizzati positivamente (342). Si varii l'esperimento: la lamina di zinco sia curva, ed un suo estremo si faccia immergere nell'acqua acidulata contenuta in un bicchiere che si tiene in mano, coll'altro estremo dello zinco si tocchi il piatto superiore dell' elettrometro, mentre l' altro piatto comunica col suolo, si verrà a conoscere essere lo zinco elettrizzato in meno. Immerse due lamine, una di zinco e l'altra di rame, in un vaso contenente acqua acidulata si può constatare che lo zinco il quale rimane

ossidato si carica negativamente, ed il rame il quale non è intaccato si elettrizza positivamente, perchè esso prende l'elettrico del liquido ossidante lo zinco. Ciò notato, diciamo, che secondo la teoria chimica i liquidi non sono semplici conduttori dell'elettricità nella pila, come voleva il Volta, ma bensì generatori. Invero lo strato bagnato collocato sopra lo zinco lo fa ossidare, e per ciò lo zinco si elettrizza per difetto, mentre il liquido si carica per eccesso. L'elettricità positiva del liquido tornerebbe a neutralizzare la negativa del sottoposto metallo, ma ciò non avviene perchè persevera l'azione chimica produttrice dell'esquilibrio elettrico. Oltre di che sovrapponendosi al detto disco bagnato un altro elemento metallico ed un altro disco umido, per l'azione chimica che quest'ultimo esercita sullo zinco esso si elettrizza in più e l'elemento metallico in meno, cosicchè questo per neutralizzare la sua elettricità richiama in alto l'elettrico positivo del primo disco bagnato. Così succedendo per gli altri elementi, si giungerà all'ultima coppia, nella quale, non essendovi il disco bagnato che la faccia caricare negativamente, si diffonde l'elettrico positivo dell'ultimo liquido il quale sarà in tanto maggior copia quanto maggiore è il numero dei richiami, ossia degli elementi.

367. Esperimento di Peltier. — A far prevalere la teoria chimica sulla fisica si sono fatti molti esperimenti dei quali indicheremo i principali, incominciando da quello di Peltier. Nei vasi A, B (fig. 191) si pone acqua acidulata con acido solforico: una lamina *z* di zinco è in parte immersa nel vaso A, ed un'altra di rame *r* pesca nel liquido contenuto in B. Le dette due lamine poi sono fra di loro saldate in *s*. Un filo di platino P fa comunicare col suolo l'acqua acidulata del recipiente A. Con un eccitatore formato di un filo di platino sostenuto da manichi isolanti si stabilisce una comunicazione tra un punto qualunque dello zinco col piatto collettore V di un elettrometro-condensatore E, l'altro piatto del quale nel medesimo tempo comunica col suolo. Si verrà in questo modo a conoscere lo zinco essere elettrizzato negativamente; ed in consimile maniera si vedrà che anche il rame *r* ed il liquido contenuto in B hanno egualmente la carica negativa. Da ciò si deduce che la separazione delle due elettricità non ha luogo nel punto di contatto *s*, perchè allora uno dei due metalli dovrebbe avere l'elettrico positivo e l'altro il negativo. Se si stabilisce invece una comunicazione tra il suolo ed il liquido del vaso B, e s'isoli il liquido di A, trovasi nel modo sovraesposto che i due metalli *z*, *r* ed il liquido di B hanno lo stato elettrico naturale, mentre il liquido di A è elettrizzato in più: la qual cosa conferma che l'esquilibrio elettrico non accade per il contatto in *s*, ma bensì nella superficie, che divide lo zinco dal liquido, prendendo il metallo l'elettricità negativa che trasmette al rame ed al liquido di B, mentre il liquido ossidante assume l'elettrico positivo.

368. Esperimenti di Faraday. — Sono assai concludenti anche gli esperimenti di Faraday. Si pongano in un vaso contenente acqua acidulata con acido solforico (fig. 192) una lamina *z* di zinco ed un'altra P di platino, ed ambedue si uniscano per mezzo di due fili metallici agli estremi del filo di un galvanometro

G, apparato di cui si tratterà in altro luogo (404), e che è destinato a dar segni dell'esistenza e della direzione d'una corrente elettrica. Il galvanometro c' indicherà che nell'esterno una corrente elettrica va dal platino allo zinco come mostrano in figura le frecce. Lo stesso si ottiene se al platino si sostituisce il rame. Ma se in questo elemento di zinco e rame si versi una soluzione di solfuro di potassa, immediatamente il galvanometro mostra che la corrente ha cambiato direzione. Nulla essendosi innovato nel contatto dei metalli, non può tal cambiamento di direzione spiegarsi colla teoria fisica, ma ben si spiega colla teoria chimica; imperocchè esaminando le lamine, si vede che mentre prima era la lamina di zinco quella intaccata dal liquido, ora invece è intaccata dal solfato di potassa la lastra di rame, la quale per ciò viene a ricoprirsi di uno strato nero di solfato di rame. Si empiano in secondo luogo i vasi A, B (fig. 193) d'una soluzione di solfuro di potassa, ed in A s'immergano due lamine di platino P, P, una delle quali per mezzo del filo metallico *a* comunica con un estremo del filo di un galvanometro, mentre l'altra termina con un filo di platino *p*. Nel vaso B si fanno pescare due altre lastre, cioè una di platino P, che per mezzo dell'appendice *b* sta unita all'altro estremo del filo del galvanometro, e la seconda di ferro F, che porta annesso un filo pur di ferro *f*. Posti a mutuo contatto i fili *f* e *p*, non si osserva alcun segno di corrente, come dovrebbe aversi secondo la teoria fisica, essendovi contatto tra i due metalli. Si spiega però questa mancanza secondo l'altra teoria colla mancanza dell'azione chimica, poichè il solfuro di potassa è incapace d'intaccare sì il platino che il ferro. Che se si pone fra *f* e *p* un pezzo di carta da filtro imbevuta d'acido solforico diluito, il galvanometro tosto mostra che il ferro è elettrizzato negativamente e positivamente il platino, il che accade perchè l'acido solforico intacca il ferro.

369. Esperimenti di Pfaff. — A difendere la teoria fisica il professore Pfaff di Kiel ragionava così: posti a contatto due dischi, uno di zinco e l'altro di rame, si faccia riposare lo zinco sulla palma della mano, come fece il Volta (363), e col rame si tocchi il piatto collettore di un elettrometro-condensatore. Mancando in questo esperimento il liquido ossidante, non si dovrebbe avere alcun segno elettrico: ma l'esperienza insegna che il rame trovasi in realtà elettrizzato in meno; dunque si deve convenire che non l'azione chimica, ma il semplice contatto, ha sviluppata l'elettricità. Gli fu risposto che nell'accennato esperimento non manca il liquido ossidante, essendo questo il sudore, il quale è sempre emesso dalla mano, e che è bastante a produrre una leggiera ossidazione da cui ha origine l'elettricità tenuissima che in tal caso si mostra, elettricità che assai aumenta quando la mano si bagni con acqua acidulata. A rendere di nessun valore tale risposta, Pfaff asseriva, che avendo posti a contatto i due dischi metallici entro ad una campana, ove solo trovavasi gaz azoto, in modo che in verun conto potesse aver luogo la benchè minima ossidazione dei metalli, nulladimeno aveva egli avuto segni d'elettricità. Il chiarissimo Volpicelli dopo di aver tenuto delle pile a secco del Zamboni (401) entro ad una campana la cui aria era stata privata con sostanze dissec-

canti d'ogni umidità, vide che queste ancora agivano perfettamente, e ne traeva la conseguenza essere il contatto la causa della loro carica.

Il Matteucci, onde mettere in accordo questi fatti, fu di parere, che col semplice contatto possa svolgersi l'elettricità, come certamente si sviluppa per l'azione chimica, le quali due sorgenti influiscono nella carica della pila, la quale però nella massima parte deve ripetersi dalla chimica azione.

Majocchi poi ha ammesso, che la produzione dell'elettricità in ogni elemento della pila è dovuta all'azione chimica, ma che dal contatto dei metalli debba ripetersi la direzione che in essa prende l'elettrico eccitato, andando questo ad accumularsi piuttosto in un estremo della pila che nell'altro, ed a questa teoria ha dato il nome di teoria *fisico-chimica*,

La moderna teoria dell'unità delle forze fisiche esclude totalmente il contatto dal numero delle sorgenti elettriche, poichè ammessa la teoria del contatto, l'elettricità sviluppata da esso, e che può convertirsi in lavoro meccanico, non sarebbe nata da un'altra forza e per conseguenza si potrebbe senza dispendio di una forza dare origine ad un lavoro: si avrebbe cioè un lavoro nato dal nulla, un effetto senza causa.

CAPO X.

EFFETTI DELLA PILA DI VOLTA

370. Corrente della pila. — Abbiamo noi veduto (365) che in una pila, che trovasi in attività, l'elettricità positiva si va ad accumulare nel polo positivo. Se pertanto si stabilisce una comunicazione tra il polo positivo e negativo per mezzo di un corpo conduttore, che si suole chiamare *reoforo*, essa elettricità accumulata nel polo positivo scorrerà lungo il detto conduttore e si porterà all'altro polo a fine di ristabilire l'equilibrio. Siccome però nella pila perseverano le forze elettro-motrici, l'equilibrio non si ristabilisce, tornando subito l'elettrico positivo ad accumularsi nel polo positivo, cosicchè si viene ad avere una continua corrente

elettrica, la quale al difuori della pila va dal polo positivo al negativo ed al didentro dal negativo al positivo. La corrente elettrica produce svariati fenomeni, i quali si sogliono dividere in quattro classi, cioè questi fenomeni sono o *fisiologici*, o *fisici*, o *magnetici*, o *chimici*.

371. Effetti fisiologici. — Si dicono effetti *fisiologici* quelli che la corrente produce nel corpo di un animale vivo o morto. Se si tocca con una mano il polo positivo di una pila e coll'altra il polo negativo nel momento, in cui si chiude il circuito, si ha una scossa che più energicamente si sente nei polsi. Seguitando a tener chiuso il circuito si prova un senso di calore, e quando s'interrompe la comunicazione tra i poli si sente una seconda scossa. Il detto fenomeno è tanto più intenso quanto maggiore è il numero delle coppie della pila. Con una pila di Bunsen (397) di 50 o 60 elementi la scossa è ben forte, e se le coppie siano da 150 a 200 è insopportabile ed anche dannosa quando il passaggio della corrente sia prolungato. Se noi tocchiamo i due poli dell'apparato colle mani asciutte, piccolo è l'effetto provato, perchè il circuito di comunicazione, il quale presentiamo alla corrente, è meno conduttore di quello che sia la pila stessa; per il che l'elettricità accumulata al polo positivo invece di passare per il nostro corpo torna al polo negativo per la pila stessa, come meglio si comprenderà quando tratteremo della resistenza che la corrente incontra (422). Pertanto ad ottenere che il circuito di comunicazione sia conduttore più della pila, e quindi per avere un maggior effetto, si toccheranno i due poli per mezzo di due verghe metalliche tenute colle mani bagnate d'una soluzione o salina o acida. Tenendo coi denti la lastra, con cui si tocca il polo positivo, nel momento della chiusura del circuito si comincia a sentire un sapore acido, vedesi un lampo di luce, ancorchè si tengano gli occhi chiusi e si prova una leggiera scossa al cervello; il sapore poi sarebbe alcalino quando colla lamina tenuta in bocca si toccasse il polo negativo e colle mani il positivo. Che se la corrente elettrica si facesse passare da un orecchio all'altro la scossa al cervello sarebbe assai più grave e molto pericolosa. Il professore Aldini ha fatto vedere come colla corrente elettrica si possano produrre le contrazioni muscolari sui cadaveri dei bruti e dell'uomo. Ci riserviamo di parlare molto più a lungo degli effetti fisiologici, allorchè si tratterà delle applicazioni dell'elettricità alla fisiologia.

372. Effetti fisici — Carica della bottiglia di Leyda. — Se un reoforo proveniente dal polo positivo d'una pila si fa comunicare col bottone di una boccia di Leyda (327), l'esterno della quale sia in comunicazione con un secondo reoforo che vada al polo negativo, la bottiglia in brevissimo tempo si trova fortissimamente caricata, perchè la copia di elettricità positiva, che va nell'interno della bottiglia, scompone l'elettrico neutro dell'armatura esterna, e vincolando la negativa, respinge la positiva, la quale va a continuare la corrente verso il polo negativo.

373. Scintilla. — Avvicinando l'uno all'altro i due reofori di cui abbiamo parlato, non si vede alcuna scintilla scoccare fra di

loro, quantunque minima sia la loro mutua distanza; il che fa conoscere poca essere la tensione elettrica nei poli, in maniera che l'elettricità non ha forza bastante di superare la resistenza opposta dall'aria al suo passaggio da un reoforo all'altro. Per la medesima ragione non si ha scintilla quando si avvicina una mano ad uno dei due poli. Ma se i due fili conduttori si pongano a contatto e poi si separino, ha luogo la scintilla nel momento del distacco, perchè rimovendo il reoforo, si solca l'aria e nasce fra i due conduttori come un momentaneo vuoto.

374. Riscaldamento di sottili fili metallici. — Allorchè si stabilisce una comunicazione fra i poli d'un'energica pila per mezzo di un sottil filo di ferro, il metallo si riscalda, si arroventa e si fonde, e se la comunicazione si faccia con un filo di platino, si potrà dare a questo una tale lunghezza che la corrente lo mantenga in incandescenza al rosso vivo. Con una pila alla Wollaston (391) di 10 elementi si può mantenere molto tempo rovente un filo di platino lungo alcuni decimetri. Ciò ci può fare comprendere quanto grande sia la copia d'elettrico svolta dalla pila. Abbiamo noi veduto (337) che con una batteria si può riscaldare ed anche fondere un pezzettino di metallo; ma il fenomeno dura un breve istante e molto bisogna girare il disco della macchina elettrica per caricare la batteria. Se adunque la pila può produrre il medesimo effetto in proporzioni più grandi e per un lunghissimo tempo, conviene dire essere essa una sorgente copiosissima di elettricità.

375. Sole elettrico. — Davy ha fatto conoscere come la corrente elettrica possa somministrare la luce più viva che possa aversi dopo quella del sole. Due aste metalliche A, B (fig. 194) sostengono due coni di carbone ridotto a coke C, D, le cui punte si pongono fra di loro a contatto. L'asta superiore può innalzarsi ed abbassarsi, scorrendo a sfregamento in un pallone di vetro ON. Colle aste A, B, si fanno comunicare i reofori che vengono dai poli di un'energica pila, e chiuso il circuito, si vedrà comparire fra le due punte dei carboni un punto luminoso d'uno splendore assai abbagliante, il qual punto si va allargando poco a poco. Allora si solleva l'asta superiore A in modo da far nascere fra i due carboni una distanza di più millimetri ed anche di più centimetri, se si operi con una pila di oltre a 100 elementi. Separati così i carboni si manifesta fra di essi un arco di luce vivissima, che si appella *arco voltaico*, e che spande lungi uno splendore eguale a quello di più centinaia di candele; il descritto fenomeno si chiama *sole elettrico*. Questa luce agisce sul cloruro d'argento come la solare, e la sua intensità è tanta che Bunsen, usando una sua pila di 80 elementi ed allontanando i carboni di 7 millimetri, potè ottenere una luce superiore a quella di 572 candele. Dietro numerose esperienze ha fatto notare Despretz, che la luce generata da una pila di 100 coppie può eccitare infiammazioni d'occhi molto dolorose, e che, se la luce fosse sviluppata da 600 coppie, in un solo istante potrebbe cagionare fortissimo dolore di capo e grave danno alla vista. È bene adunque usare in simili esperimenti occhiali colorati. La luce non proviene dall'ordinaria com-

bustione dei carboni, perchè il fenomeno ha luogo anche nel vuoto e per ciò i carboni non si dovrebbero consumare. Passando però l'elettricità da un cono all'altro, porta con sè delle particelle del carbone da cui parte, e quindi il carbone comunicante col polo positivo s'impiccolisce, depositandosi sulla base dell'apparato una quantità di pulviscoli carbonici. Crescendo per questa cagione la distanza fra i due coni, arriva questa ad essere tale da impedire il passaggio all'elettrico, la cui luce allora si estingue. Ad impedire ciò, al descritto apparato un altro se ne aggiunge, il quale è detto *regolatore*, che è un congegno d'orologeria e che avvicina le punte via via che una di esse si consuma.

Se invece della produzione di luce si voglia un forte sprigionamento di calorico, basta che il cono inferiore non termini a punta, ma abbia la superficie superiore concava a modo di crogiuolo: in questa cavità si pongono i pezzettini di metallo che si vogliono fondere. Si avvicina ad essi la punta del cono superiore fino al contatto, e si fa passare la corrente. Bastano alcuni secondi per fondere un pezzo d'argento, d'oro, ed anche di platino: il ferro e l'acciaio posti nella detta cavità sono portati ad una temperatura sì elevata, da entrare in una viva combustione a contatto dell'aria, scagliando in ogni direzione scintille abbaglianti in modo da rappresentare in piccole proporzioni un fuoco d'artifizio.

376. Effetti magnetici. — Un ago calamitato si ponga sopra un perno, e si sospenda ad un filo in maniera, che possa esso liberamente ruotare in un piano orizzontale, ed in un piano verticale. Un filo metallico, il quale in questo caso si suol chiamare *filo congiuntivo*, serve a stabilire la comunicazione fra i due poli d'un apparato elettromotore composto di due o tre coppie a larga superficie. Oersted ha osservato, che se il filo si pone vicino e parallelo all'ago magnetico, e per esso si fa passare la corrente, l'ago tosto si sposta dalla naturale sua posizione, e la deviazione è diversa secondo che la corrente va in un senso, o nel senso opposto, e secondo che il filo congiuntivo si pone parallelamente all'ago sopra, o sotto, o lateralmente al medesimo. Per poter determinare la nuova posizione che prenderà l'ago, è assai comoda la seguente regola data da Ampère. S'immagini una figurina umana distesa sul filo congiuntivo colla faccia sempre rivolta all'ago, e formante, per così dire, parte del circuito, in guisa poi, che la corrente entri per i suoi piedi, ed esca per il capo. La sinistra di questa figurina dicesi la *sinistra della corrente*. Ciò notato, ecco la legge amperiana: l'ago calamitato tende a disporsi perpendicolarmente alla corrente, ed il suo polo rivolto al nord si porta costantemente alla sinistra della corrente.

377. Effetti chimici. — Decomposizione dell'acqua — La corrente elettrica decompone i corpi, che si fanno da essa attraversare, cioè che sono capaci a condurre l'elettricità. Vediamone degli esempi. In un tubo di vetro piegato a U si ponga dell'acqua resa più deferente collo sciogliercì un sale, o coll'infonderci acido solforico. Le due estremità del tubo chiudonsi con due pezzi di sovero attraversati da due fili metallici, per lo più di platino, i cui estremi esterni comunicano coi poli di una pila, e gli interni pescano nel liquido, trovandosi ad una reciproca distanza di circa uno o due

millimetri. Subito chiuso il circuito, si vedono formare fra le due punte delle bollicine, delle quali una parte si reca verso il polo positivo, e l'altra verso il polo negativo. Intanto l'acqua va scemando, poichè si decompone, ed il suo ossigeno è quello che si reca verso il polo positivo, l'idrogeno si accumula nella parte rivolta al polo negativo. È facile poi riconoscere questi due gas; poichè introdotto un cerino acceso in quest'ultima parte del tubo, l'idrogeno s'infiamma, e brucia con fiamma pallida, ma ben visibile nell'oscurità. Immerso un cerino quasi spento nell'altra parte del tubo tosto si riaccende e brucia con vivacità. La detta decomposizione dell'acqua fu la prima analisi operata colla pila, e fu eseguita con un apparato a colonna nel 1800 dai due inglesi Carlisle e Nicolson

378. Voltametro. — L'apparato per la decomposizione dell'acqua, ora si suole in altro modo formare. Dal fondo d'un recipiente di cristallo (fig. 195) a calice sorgono due laminette o fili di platino, le cui estremità inferiori sporgono fuori del vaso stesso. Si pone acqua acidulata nel recipiente, e della stess'acqua si empiono pure due campanine di vetro, ciascuna delle quali, dopo averla capovolta senza fare versare il liquido contenuto, s'immerge in parte nell'acqua del recipiente, accogliendo entro di sè uno degli spilloni di platino. Posti in comunicazione coi reofori della pila gli estremi esterni degli spilloni, l'acqua si decompone, l'ossigeno si reca alla campana avente sotto di sè lo spillo, che comunica col polo positivo, discacciandone l'acqua; l'idrogeno si porta all'altra campana e ne discaccia pure il liquido. Al descritto apparecchio si è dato da Faraday il nome di Voltametro, perchè con esso si può misurare l'intensità di una corrente elettrica, la quale è proporzionale alla quantità d'acqua decomposta in un dato tempo. Si deve però notare, che la quantità d'acqua decomposta non solo dipende dall'intensità della corrente, ma ancora dal grado d'acidità dell'acqua, e dalla natura, forma, volume e vicinanza dei fili metallici immersi in questa. Si deve adunque avere cura nel misurare e confrontare l'attività di due correnti di adoprare l'istesso voltametro, o voltametri in tutte le cose eguali, cioè di egual forma, di eguali dimensioni, e con acqua di costante temperatura e contenente sempre la medesima quantità d'acido.

379. Decomposizione simultanea di più masse d'acqua. Se l'acqua è contenuta in due vasi distinti, in uno dei quali s'immerga il reoforo positivo, e nell'altro il negativo, ogni qual volta i due vasi siano posti in comunicazione fra loro per mezzo d'un conduttore liquido od inzuppato in un liquido, la decomposizione succede, come se l'acqua fosse contenuta in un solo recipiente; ossia tutto l'ossigeno si va a trovare all'estremo del reoforo positivo, e tutto l'idrogeno all'estremo del reoforo negativo. Lo stesso avviene quando la comunicazione fra i due recipienti si stabilisca con il nostro corpo, immergendo, ad esempio, una mano in un recipiente, e l'altra nell'altro. Ma se i due vasi comunicano fra di loro per mezzo d'un conduttore del tutto solido, ad esempio, mediante un filo metallico, la decomposizione si effettua separatamente in ambedue i vasi ed il reoforo, che fa comunicare il primo recipiente col polo positivo, attrae a sè l'ossigeno sviluppato dalla decompo-

sizione dell'acqua contenuta in esso vaso, e l'idrogeno relativo si porta vicino all'estremo ivi immerso del conduttore solido ponente in comunicazione i due vasi. L'altro estremo di questo conduttore, che è immerso nell'altro recipiente, rimane coperto dall'ossigeno svolto nella decomposizione dell'acqua di questo secondo vaso, e l'idrogeno si mette a contatto del reoforo negativo.

380. Teorie di Faraday e Grottus. — Prima di procedere ad altri esempi di decomposizione, è opportuno di dare spiegazione al fenomeno. Faraday appellò *elettroliti* quei liquidi composti, che facendosi attraversare dalla corrente elettrica, si decompongono. Ritiene Faraday, che decomposto l'elettrolito nei suoi principii, alcuni di questi siano naturalmente carichi d'elettricità positiva, onde li chiama sostanze *elettro-positive*, e gli altri siano carichi di elettrico negativo, per il che li nomina sostanze *elettro-negative*. Siccome poi le elettricità di nome contrario si attraggono, ne viene che le sostanze elettro-negative debbano essere attratte verso il polo positivo della pila, e le elettro-positive verso il polo negativo. L'ossigeno dell'acqua va al polo positivo, perchè è sostanza elettro-negativa, e l'idrogeno, perchè è corpo elettro-positivo, si reca all'altro polo. Chiamò il suddetto fisico *anodo* il reoforo, per il quale la corrente sbocca nel liquido, e *catodo* quello che la riceve dal liquido: sul primo si depositano i corpi elettro-negativi, gli elettro-positivi sul secondo: ambedue poi si dicono *elettrodi*. Finalmente si dice *elettrolisi* la decomposizione d'un liquido per mezzo della corrente.

Grottus ammette che nella decomposizione di un liquido non vi sia trasporto degli elementi da un elettrodo all'altro, ma nasca il fenomeno per una serie di decomposizioni e ricomposizioni. Supponiamo (fig. 196), che N, P siano due lamine di platino immerse nell'acqua. La prima sia l'anodo , il catodo la seconda, e si consideri fra loro una serie lineare di molecole d'acqua. Il primo effetto dell'elettricità è l'orientare le molecole d'ossigeno e quelle d'idrogeno: le prime *o*, come sostanze elettro-negative si rivolgono verso l'elettrodo positivo; le seconde *h*, sostanze elettro-positive, si volgono verso l'elettrodo negativo. La molecola d'ossigeno più vicina all'anodo è attirata da questo e si porta sul platino; divenendo libera la molecola d'idrogeno si unisce e si combina colla molecola d'ossigeno della successiva molecola d'acqua, e riforma una molecola acquosa, e così di seguito, di maniera che in fine rimane libera la molecola d'idrogeno dalla molecola d'acqua più vicina al catodo sul quale si porta il suddetto idrogeno. Come in tal modo per mezzo di tante composizioni e decomposizioni di molecole di acqua si è ottenuta una decomposizione effettiva d'una molecola; così con altre decomposizioni e composizioni si hanno successivamente le decomposizioni effettive delle altre.

381. Decomposizione degli ossidi. — Davy adoprando una pila di molti elementi, è giunto a decomporre la potassa e la soda, mostrando così essere tali sostanze ossidi di due metalli, potassio e sodio. Ecco il metodo da usarsi: Sopra una lamina di platino che comunica col polo positivo d'una pila si pone un pezzo di potassa inumidita col bagnarla con acqua, o col tenerla per qualche tempo esposta all'aria. Fatta nella potassa una piccola cavità con un ferro

arroventato, si empie questa di mercurio, nel quale fassi pescare l'estremo di un filo di platino che termina nell'altro estremo col polo negativo della pila. Passando la corrente, il mercurio poco a poco cambia di consistenza e si addensa mentre un gas, che è l'ossigeno, si porta verso il polo positivo. Si pone dopo ciò il mercurio in una storta e si distilla; rimane nella storta un globulo di metallo che è il potassio. Ha in tal modo la corrente decomposto l'ossido di potassio portando l'ossigeno all'anodo ed il metallo al catodo, ove si è unito al mercurio, formando un'amalgama. Una proprietà assai rimarchevole del potassio e della sua amalgama è il poter decomporre l'acqua alla temperatura ordinaria. Posto difatti il potassio nell'acqua, dà luogo allo svolgimento di bolle d'idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'acqua, il cui ossigeno si combina col metallo formando un ossido che è la potassa. In simil modo si decompone la soda.

382. Decomposizione dei sali. — Anche i sali si possono decomporre per mezzo della corrente. Si voglia in primo luogo decomporre il solfato di rame. In un tubo di vetro piegato ad U si versa una soluzione acquosa di solfato di rame, e nelle due branche di esso vaso s'immergono due lamine di platino che si fanno comunicare coi due poli della pila. Subito si vede il catodo coprirsi d'un deposito di rame, mentre l'anodo addiviene la sede di uno sviluppo d'ossigeno. L'analisi chimica mostra ancora che intorno al polo positivo trovasi acido solforico allo stato libero. Il sale adunque si è decomposto per mezzo della corrente, essendosi il metallo portato verso il polo negativo, l'ossigeno e l'acido verso il positivo. Si abbia in secondo luogo a decomporre il solfato di potassa. Ad una soluzione di solfato di potassa neutro si aggiunge una certa quantità di sciroppo di viole, e si versa questo liquido nell'apparato dell'esperienza precedente. Passando la corrente, avviene al polo positivo uno sviluppo d'ossigeno, ed il liquido si tinge in rosso mostrando così la presenza dell'acido che ha la proprietà di tingere in rosso lo sciroppo di viole. Al polo negativo il liquido si tinge in verde, e ciò è dovuto alla potassa che, come gli alcali, ha il potere di render verde il suddetto sciroppo. Qui poi si osserva un fenomeno il quale non ha luogo nell'analisi precedente, ed è che al polo negativo vi è sviluppo d'idrogeno, e non è il potassio che si porta a questo polo ma bensì la potassa. Facile è la spiegazione di questo fatto. Il potassio non può mantenersi puro al catodo immerso nell'acqua, ma per la grandissima affinità che ha per l'ossigeno (381), decompone l'acqua, si converte in potassa e lascia libero l'idrogeno. Povillet con un semplicissimo esperimento ha mostrato le cose essere così. Si versi in un bicchiere una quantità di mercurio ed in questo metallo s'immerga l'estremo di un tubo di vetro contenente un filo di platino il quale forma l'elettrodo negativo di una pila. Sopra il mercurio nel bicchiere si versi una soluzione di solfato di potassa nella quale deve pescare l'elettrodo positivo. Avrà luogo la decomposizione che dopo qualche tempo s'interrompe col far cessare il passaggio della corrente. Si vede che lo sviluppo dell'idrogeno dal mercurio prosegue per qualche tempo, il che certamente avviene perchè si è formato al polo

negativo un'amalgama di potassio che a poco a poco decompone l'acqua.

383. Legge di Faraday sulle decomposizioni elettrochimiche. — Faraday relativamente alle decomposizioni chimiche ottenute colla pila ha scoperto una legge che si può enunciare così: allorchè una medesima corrente attraversa più sostanze composte, le quantità degli elementi separati stanno fra loro come gli equivalenti chimici. Tal legge si può dimostrare col seguente esperimento. Una corrente elettrica attraversi un voltametro contenente acqua, poi un vaso piegato ad U pieno d'una soluzione di solfato di rame, e quindi un tubo pieno di cloruro di stagno mantenuto allo stato di fusione. Dopo che per molto tempo la corrente è passata per i tre detti apparati si potrà misurare il volume d'idrogeno che si è accumulato al polo negativo del voltametro, e con facile calcolo conoscerne il peso: l'aumento di peso del catodo del secondo vaso farà conoscere il peso del rame ivi accumulato e parimente l'aumento di peso del reoforo negativo del terzo vaso darà il peso dello stagno in esso depositato. Si trova che i pesi dell'idrogeno, del rame e dello stagno stanno fra loro come 1:32:59, che sono precisamente gli equivalenti di queste tre sostanze. Allorchè si assoggettano all'esperimento elettroliti, che per un medesimo peso di metallo contengono differenti pesi di un altro elemento, ad esempio, quando si decompongono dei cloruri aventi per un medesimo peso di metallo pesi diversi di cloro; quale sarà l'elemento che segue la legge di Faraday? Matteucci ha dimostrato che quando con una medesima corrente si decompongono i cloruri di rame Cu_2Cl, $CuCl$, si ottengono volumi e per ciò pesi eguali di cloro, cosicchè i pesi del rame reso libero sono tra loro come $Cu_2:Cu$, ossia come 2:1; è adunque il cloro quello che ha seguìta la legge. Becquerel dopo gran numero di esperimenti fatti sugli ossidi, cloruri e sali ha potuto conchiudere che per un equivalente d'idrogeno fatto libero sul voltametro si fa sempre libero negli altri elettroliti un equivalente della sostanza elettro-negativa come ossigeno, cloro, acido ecc.

334. Decomposizione nell'interno della pila. — Mentre la corrente della pila produce al di fuori di questa delle decomposizioni chimiche, avvengono azioni chimiche nell'interno in ciascun elemento, le quali, come abbiamo veduto (366), sono quelle che generano l'elettricità. Daniell ha dimostrato con un facile esperimento che la quantità d'idrogeno che si sviluppa in ciascun elemento della pila è eguale a quella che si ottiene in un voltametro pieno d'acqua posto nell'esterno circuito. La pila impiegata a tal uopo da Daniell era formata di due elementi di Smèe, ciascuno cioè composto di una campana rovesciata (fig. 197), il collo della quale chiuso da un turacciolo è attraversato da una lamina *z* di zinco amalgamato, e da una lamina P di platino. Nell'interno della campana si versi del mastice fuso che copra il fondo ed impedisca l'escita al liquido posto nella campana stessa, il qual liquido è acqua acidulata con acido solforico. Due campanine H graduate e piene di acqua stanno ciascuna sopra al platino di ciascun elemento per raccogliere l'idrogeno ivi sviluppato. I poli di questa pila, come vedesi in figura, si congiungono colle lamine di un voltametro. Con il descritto

apparato Daniell ha verificato che l'idrogeno sviluppato in ciascuna coppia è eguale a quello che si è raccolto nel voltametro. Ora siccome un equivalente d'idrogeno dell'acqua decomposta dallo zinco sotto l'azione dell'acido solforico esige la dissoluzione di un equivalente dello zinco; si conchiude che per ogni equivalente d'acqua decomposta per l'elettrolisi si scioglie in ciascun elemento della pila un equivalente di zinco. Si deve poi aggiungere che se da una medesima corrente si decompongono contemporaneamente più corpi diversi, ciascun equivalente ottenuto dalle sostanze elettro-negative corrisponde ad un equivalente di zinco sciolto in ciascun elemento della pila.

385. Polarizzazione degli elettrodi. — Se due fili di platino si mettono in comunicazione con un galvanometro (404), non dànno alcun segno di corrente; ma ben manifesti saranno questi segni, se i detti due fili di platino abbiano prima servito da elettrodi nella decomposizione dell'acqua, di un acido, di un sale ecc. Quando adunque due fili metallici sono stati percorsi da una corrente, che ha prodotto l'elettrolisi, essi fili addivengono come una pila, ed in essi passa una corrente, la quale va in senso contrario di quella che ha servito ad analizzare il liquido. Tale fenomeno fu scoperto da De-La-Rive, e la spiegazione del medesimo è la seguente. Nel vaso A (fig. 198) contenente acqua s'immergano due lastre metalliche *e*, *f*, la prima delle quali comunica col polo positivo della pila, e l'altra col polo negativo. La corrente attraverserà il liquido, andando da *e* in *f*. Il liquido si decomporrà, e l'ossigeno, od in genere il corpo elettro-negativo, si porterà a ricoprire la lastra *e*, mentre l'idrogeno, od il corpo elettro-positivo, si accumulerà intorno ad *f*. Interrotta la comunicazione colla pila, e fatte comunicare le lastre *e*, *f* coi fili d'un galvanometro, si dovrà avere una corrente elettrica, perchè l'elettricità positiva dell'idrogeno, che trovasi in *f*, deve andare in *e*, ivi chiamata dallo stato elettrico negativo dell'ossigeno: la corrente adunque andrà in senso contrario di quella, che proveniva dalla pila. Si dice che gli elettrodi si sono *polarizzati*. Ben più notevole sarebbe tale polarizzazione, quando colle due lamine di platino si fosse elettrolizzato il solfato di zinco; poichè lo zinco, che è risultato dalla decomposizione, si sarebbe depositato sul catodo *f*, e l'ossigeno e l'acido sull'anodo *e*. Ciò avvenuto, poste le due lamine in congiunzione con i fili del galvanometro, si mostrerebbe ben notevole la corrente, che nel liquido va da *f* ad *e*, perchè la lamina *f* coperta di zinco è intaccata dal liquido, cosicchè essa prende l'elettricità negativa (366), e l'elettrico positivo si reca al liquido e da questo passa alla lamina *e*.

386. Galvano-plastica. — La decomposizione dei liquidi per mezzo della corrente, ed il depositarsi delle sostanze elettro-positive sul catodo hanno dato origine alla *galvano-plastica*, che è l'arte di modellare i metalli, facendoli precipitare dalle loro soluzioni saline per l'azione lenta d'una corrente elettrica. Vogliasi, a modo d'esempio, riprodurre il basso rilievo d'una medaglia. Si stropiccia questa con piombaggine, e su di essa si comprime un pezzo di gutta-perca resa molle coll'averla fatta bollire nell'acqua. Lasciatala raffreddare durante la compressione, si distacca di poi dalla

medaglia, la cui impressione rimane nella gutta-perca, la quale non può aderire alla medaglia a motivo dello strato interposto di piombaggine. Con questa si stropiccia la stampa ottenuta, onde renderla deferente; si mette in un cerchio di rame munito di un uncino, e si pone nell'apparato, che ora ci facciamo a descrivere. Si abbia una piccola vasca A (fig. 199) di vetro o maiolica piena d'una soluzione satura di solfato di rame, sopra la quale siano posti due regoli di ottone B, D, di cui uno comunica col polo positivo, l'altro col polo negativo d'una pila a forza costante (394) di due o tre elementi. Al regolo B, che comunica col polo negativo si appende la stampa, la quale trovasi immersa nella soluzione di solfato di rame, ed in questa pesca ancora una lamina *c* di rame congiunta al regolo D, che sta unito al polo positivo. Trovandosi per tal modo chiuso il circuito, il solfato di rame si decompone, portandosi il suo acido e l'ossigeno al polo positivo (382), mentre il polviscolo di rame si reca al polo negativo, e si deposita sulla forma lentamente, cosicchè vi si va a formare uno strato metallico più o meno erto secondo la durata dell'azione Con un leggiero urto si distacca questo deposito dalla forma, e così si ottiene in rame una copia fedele del rilievo, con cui è stata fatta la stampa. Si pone la lamina *c* di rame non solo per chiudere il circuito, ma ben anche per mantenere la soluzione in uno stato costante di concentrazione. Infatti l'acido e l'ossigeno che si portano al polo positivo, si combinano col rame della piastra, e riproducono costantemente una quantità di solfato di rame eguale a quella, che è decomposta dalla corrente.

Il medesimo metodo ed apparato servono per dorare ed inargentare un metallo qualunque. L'oggetto ben pulimentato si appende al regolo B, e nell'altro regolo invece della lamina di rame *c* se ne pone una d'oro o d'argento, secondo che quello si abbia a dorare od inargentare. Il bagno poi invece di essere una soluzione di solfato di rame, si forma per la doratura di un liquido costituito di un gramma di cloruro d'oro e di 10 grammi di cianuro di potassio sciolti in 200 grammi d'acqua; e per l'inargentatura, di un liquido composto di 2 grammi di cloruro d'argento e di 10 grammi di cianuro di potassio sciolti in 150 grammi d'acqua. Decomponendosi questi liquidi, l'oro o l'argento, sostanze elettropositive, si depositano sull'oggetto posto al polo negativo, e lo coprono d'un sottilissimo strato, che poi è capace di essere brunito. Con questo metodo bene si dorano ed inargentano il rame, il bronzo, l'ottone, il pacfong; ma non già il ferro, l'acciajo, lo zinco, lo stagno ed il piombo, ai quali il deposito d'oro e d'argento poco aderisce. Basta però esporre questi metalli ai depositi di rame, e quando si siano coperti d'uno strato di questo metallo, saranno resi capaci di essere inargentati o dorati.

Quantunque queste applicazioni della corrente elettrica fossero state indicate da Brugnatelli fin dal 1804, pure non furono poste in atto prima del 1838, nel qual tempo la galvano-plastica fu contemporaneamente fatta conoscere da Spencer in Inghilterra e da Iacobi in Russia. Il Prof. De-La-Rive applicò la corrente elettrica alla doratura ed inargentatura.

387. Ricerca dei metalli per mezzo della pila. — Allorchè si suppone, che un liquido contenga in dissoluzione un metallo, si può verificare la cosa per mezzo d'una pila a più elementi. Si immergono in detto liquido una sottile lamina d'oro, che è in comunicazione col polo negativo, ed una lamina di platino comunicante col polo positivo. Se nel liquido vi è in dissoluzione un metallo, questo si deposita nell'oro, il quale perciò cambia di colore. Non rimane in tal caso che esaminare la natura del metallo depositato.

CAPO XI.

VARIE FORME DELLA PILA DI VOLTA

388. Difetti della pila a colonna. — La pila a colonna da noi descritta (364), oltre che è incomoda in pratica, è molto difettosa. Difatti il peso dei dischi metallici, gravitando sui dischi bagnati, li comprime e ne spreme il liquido, facendolo scorrere lungo le pareti laterali della colonna. L'elettricità accumulata al polo positivo per mezzo di questo liquido, che bagna lateralmente la colonna, torna al polo negativo, e l'apparecchio in gran parte si scarica. Di più avendo i dischi umidi perduta per la detta ragione la maggior parte del liquido, di cui erano imbevuti, ben presto cessa l'azione chimica, e quindi la produzione dell'elettricità.

389. Pila a corona di tazze. — A togliere i suddetti inconvenienti Volta ideò la pila a *corona di tazze*, la quale consiste in una serie di vasi A, B, C, D..... (fig. 200) di vetro o di terra verniciati, per lo più disposti in cerchio, i quali vasi contengono acqua acidulata, o qualche soluzione salina. In ciascuna tazza si trovano immerse due piccole lastre, una di rame *r* e l'altra di zinco *z*, che non si toccano fra loro, ma solo comunicano vicendevolmente per l'intermezzo del liquido. Il rame d'una tazza qualunque comunica esternamente collo zinco della tazza seguente. Lo zinco della tazza D forma il polo negativo della pila, ed il rame della tazza A, raccogliendo l'elettrico positivo del liquido ivi contenuto, costituisce il polo positivo.

390. Pila a truogoli od a cellule. — Subito che Volta pubblicò la sua scoperta, il fisico inglese Cruykshanhs formò un nuovo

apparato elettro-motore detto *pila a truogoli* o *a cellule*, che consiste in una cassetta di legno rettangolare ed oblunga spalmata nell'interno con una sostanza coibente formata di quattro parti di polvere di mattone, di tre di resina, e di una di cera gialla. Le piastre di rame o di zinco di ciascuna coppia sono rettangolari, saldate insieme ed assicurate colla detta sostanza nella cassetta a piccola distanza tra una coppia e l'altra, in modo da lasciare tra la piastra di rame di una coppia e quella di zinco della seguente una specie di cellula, la quale si empie di acqua acidulata. Le lastre estreme sporgono sopra alle altre dal piano della cassetta e costituiscono i poli della pila. Come è chiaro, questa non è altro che la pila a colonna ridotta ad essere orizzontale, ed in cui ai dischi bagnati è sostituita la semplice acqua acidulata.

391. Pila alla Wollaston. — Uno dei più potenti apparati elettro-motori e la *pila alla Wollaston*, così appellata dal nome del suo inventore, e, che è formata nel modo seguente. Una lastra di zinco rettangolare e ripiegata, il cui profilo è *P a*, (fig. 201) è saldata in *a* con un'altra di rame *a r l f*, e questo è un elemento. Il rame ripiegato, come vedesi in figura contiene in mezzo la lastra di zinco *z* del secondo elemento, abbracciandola da ambedue le parti senza però toccarla in alcun punto, quantunque le stia assai vicino. Tutti gli altri elementi sono nel medesimo modo formati e disposti. Essendo le dette coppie attaccate alla sbarra di legno A B, possono per mezzo di questa essere abbassate ed immerse nei recipienti C, D, E, F, in cui è contenuta l'acqua acidulata. È facile rilevare dalla semplice ispezione della figura, aversi una vera pila, toccandosi i metalli nella saldatura, e formando il liquido lo strato umido, che separa un elemento dall'altro. Molti sono i vantaggi di questa pila. Invero, quando non si vuole usare della medesima, basta per smontarla di sollevare il bastone A B, e così togliere i metalli dall'inutile azione del liquido. Presentando inoltre lo zinco ambedue le facce al liquido, l'azione chimica avviene in una larga superficie, e per ciò è abbondante lo sviluppo dell'elettricità. Finalmente essendo ben sottile lo strato liquido, che trovasi fra lo zinco di una coppia ed il rame della successiva, facilmente l'elettrico del liquido passa al rame, come meglio s'intenderà da quello che diremo (423) intorno alla resistenza, che i liquidi presentano alla corrente elettrica.

392. Incostanza delle pile ad un solo liquido. — Le sopradescritte pile, e moltissime altre, che per brevità lasciamo di esporre hanno il grave difetto di non avere una intensità costante Sono molto attive sul principio, ma la loro energia scema ben presto, per cessare totalmente dopo un tempo non lungo. Più sono le cause di questa incostanza, ecco le principali: 1ª Lo zinco sul principio si ossida rapidamente, ma quando la superficie è coperta di ossido, diminuisce e poi cessa l'azione chimica, e quindi la produzione elettrica (366). 2ª I metalli si polarizzano, e per tale polarizzazione, come si è veduto (385), si genera una corrente, la quale andando in senso opposto a quella dovuta all'azione chimica, necessariamente la indebolisce. 3ª Si altera la composizione dei liquidi, in modo che non riescono più adatti ad intaccare i metalli: ad esempio, nelle pile descritte l'acido solforico diluito, che attacca lo zinco, si con-

verte rapidamente in solfato di zinco, il quale non esercita sul detto metallo azione chimica: 4ª Si decompongono i prodotti dell'azione degli acidi. Invero allorchè in un elemento si è formata una certa quantità di solfato di zinco, questo sale rimane decomposto dalla corrente interna della pila, la quale, come sappiamo (370), va dallo zinco al rame attraversando il liquido. Sarà adunque per il liquido interno lo zinco l'anodo, ed il rame il catodo (380). Ora sappiamo che gli elementi elettro-negativi, cioè l'ossigeno e l'acido si depositano sull'anodo, dunque questi investiranno lo zinco, mentre il metallo, ossia lo zinco del liquido, come elemento elettro-positivo, si deposita sul catodo, ossia sul rame. Per tal modo il rame va a ricoprirsi d'uno strato di zinco, e si avrà come se nel liquido s'immergessero due lamine di zinco; ond'è che avendosi così esposti al liquido due metalli egualmente intaccabili, si debbono generare due correnti eguali e contrarie, che necessariamente si elidono.

393. Proprietà dello zinco amalgamato. — Lo zinco di commercio, come poco fa si è notato, rapidamente si ossida allorchè è immerso nell'acqua acidulata; ma non avviene lo stesso dello zinco puro, il quale si ossida lentamente e regolarmente. Siccome però sarebbe cosa ben incomoda, se si avesse a depurare lo zinco, si fa invece uso dello zinco di commercio amalgamato, il quale ha le stesse prerogative del puro. Si amalgama poi lo zinco, operando nel seguente modo. S'immerge per brevissimo tempo esso nell'acqua molto acidulata con acido solforico: il metallo rimane vivamente attaccato dall'acido, ma la sua superficie resta netta, disciogliendosi l'ossido di zinco. Si versa dopo ciò sulla lamina metallica il mercurio, e fortemente si stropiccia, e così la superficie dello zinco rimane coperta d'uno strato d'amalgama assai splendente. Lo zinco amalgamato ha un'altra proprietà scoperta da De-La-Rive: se s'immerge cioè una lamina di esso metallo nell'acido solforico diluito, non rimane affatto intaccata, nè si forma il solfato di zinco, ma si producono solamente delle bolle d'idrogeno, che restano aderenti al metallo, e non sfuggono. Se s'immerga in quel liquido una lamina di rame, che non tocchi lo zinco, non cambia il fenomeno; ma se il rame collo zinco si pone a contatto in qualche punto, questo rimane intaccato dal liquido, e l'idrogeno sfugge.

394. Pile a due liquidi. — Per rimediare agli altri difetti disopra accennati si pensò d'immergere la lastra di zinco amalgamato in un liquido, e quella di rame in un altro di diversa natura separati da un diaframma capace d'impedirne il mescolamento senza intercettare il passaggio all'elettrico. I liquidi poi debbono essere di tal natura: 1° che siano atti a sciogliere i depositi, i quali si formano nelle due lamine per la decomposizione dei prodotti degli acidi: 2° che uno solo sia attivo sul metallo in esso immerso, ma l'altro sia del tutto inattivo sul metallo, il quale gli è a contatto: 3° che agendo i liquidi fra di loro chimicamente attraverso del diaframma, la corrente elettrica nata da tale azione sia diretta nel medesimo senso di quella, la quale ha origine dall'azione dell'acido sul metallo. Su tale principio è fondata la costruzione delle *pile a due liquidi*.

395. Elemento di Daniell. — Il chimico inglese Daniell nel 1836 ideò la prima pila a due liquidi. Ogni elemento di questa è così

formato. In un vaso di maiolica o di cristallo si versa acqua acidulata con acido solforico, e vi s'immerge verticalmente un tubo di zinco amalgamato. Entro a questo si pone un altro vaso di terra cotta poroso, il quale contiene una soluzione satura di solfato di rame, nel qual liquido pesca una lastra di rame. Finchè il circuito è aperto non ha luogo azione chimica, perchè lo zinco è amalgamato (393); ma quando il circuito è chiuso, lo zinco è intaccato dall'acqua acidulata, e perciò si carica di elettricità negativa, ed il liquido prende l'elettrico positivo, il quale per il liquido stesso, per il vaso poroso, e per l'altro liquido si porta al rame, che per conseguenza forma il polo positivo dell'elemento, di cui il polo negativo è lo zinco. Ecco le azioni chimiche, che hanno luogo: chiuso il circuito, l'acqua è decomposta dallo zinco sotto l'influenza dell'acido solforico, e l'ossigeno risultante da tale decomposizione si porta sullo zinco e l'ossida, formandosi quindi solfato di zinco. L'idrogeno si porta al rame, riduce il solfato di rame, che circonda la lamina, si unisce all'ossigeno della base di detto solfato, e lascia in libertà il metallo di questo, che si deposita sulla lamina. Per mantenere costante la saturazione della soluzione di solfato di rame, nella parte superiore interna del vaso poroso si pone una specie di recipiente anulare tutto forato, che pesca nel liquido, e vi si pongono entro dei cristalli di solfato di rame, i quali andranno sciogliendosi via via, che la soluzione s'impoverisce. A mantenere la corrente costante per un tempo lunghissimo si dovrebbe rinnovare poco a poco l'acido solforico nel vaso esteriore, portando via il solfato di zinco, il quale precipita nella parte inferiore. Ciò si ottiene facendo sgocciolare in esso vaso acido solforico diluito, mentre un tubo ricurvo a sifone (201) fa escire il liquido carico di solfato di zinco. Nella pila di Daniell si può fare a meno del vaso poroso, che presenta sempre un qualche ostacolo al passaggio della corrente, dando all'elemento la disposizione, di cui la figura 202 presenta una sezione verticale. Un vaso di vetro A B circa alla metà della sua altezza aumenta bruscamente di diametro, formando un rialzo, sul quale poggia un cilindro cavo *zz* di zinco amalgamato, a cui è saldato un filo di rame, che sporge dal vaso. Sul fondo del detto recipiente ne riposa un altro pur di vetro, ma più stretto contenente fino alla distanza di un centimetro dal suo orlo superiore una soluzione satura di solfato di rame, nella quale è immersa una lamina di rame R R, che per mezzo d'un filo metallico vestito di guttaperca comunica coll'esterno. Si versa sopra alla detta soluzione, la soluzione acida in modo da empirne tutto il recipiente A B, facendo tal versamento dolcemente per mezzo d'un tubo di vetro terminato in alto ad imbuto. I liquidi a motivo del diverso loro peso specifico rimangono separati senza che vi sia bisogno del diaframma poroso.

396. Pila di Grove. — L'elemento di Grove differisce dal precedente in quanto che il solfato di rame è rimpiazzato dall'acido azotico del commercio, entro cui invece della lamina di rame pesca una lamina di platino. L'acqua si decompone, l'ossigeno si unisce allo zinco, e l'idrogeno reso libero attraversa il vaso poroso, decompone l'acido azotico, ed unendosi all'ossigeno di questo riforma l'acqua. Si avrà ancora acido ipo-azotico, il quale sfugge quando

il restante acido azotico ne è rimasto saturo. La pila di Grove è molto più attiva di quella di Daniell, e se non è molto in uso, proviene dal caro prezzo del platino, il quale dopo di aver servito per molto tempo diventa assai fragile. Nondimeno in molte applicazioni fisiologiche è utile adoprare piccoli elementi di Grove aventi l'altezza di 3 a 4 centimetri, il cui prezzo è assai discreto a motivo delle piccole dimensioni del platino.

397. Pila di Bunsen. — Bunsen ha sostituito al platino un cilindro di carbone coke, il quale è buon conduttore dell'elettricità, e non è intaccato dall'acido azotico. Per riunire lo zinco d'un elemento col carbone del successivo, è attaccato allo zinco l'estremo di una striscia di rame, che termina nell'altro estremo in un tronco di cono metallico, il quale s'introduce in un foro fatto nella parte superiore del carbone dell'altro elemento. La pila a carbone dà una corrente assai costante ed intensa, cosicchè con 2 o 3 elementi si possono ottenere molte decomposizioni chimiche.

398. Pila a solfato di mercurio di Mariè-Davy. — In questa pila disposta come quella di Bunsen invece dell'acido azotico si pone a contatto del carbone una poltiglia di solfato di biossido di mercurio, sale poco solubile, lo zinco poi pesca nell'acqua ordinaria o salata. Decomposta l'acqua, l'ossigeno si unisce allo zinco, e l'idrogeno riducendo il solfato di biossido di mercurio, s'impadronisce dell'ossigeno di questo. Rimangono un sottosolfato di ossido di mercurio, che si deposita al fondo del vaso poroso, e mercurio metallico, che si porta sul carbone. In molti apparati elettrici ad uso medico si adoprano elementi a bisolfato di mercurio senza diaframma. In un medesimo recipiente, che contiene acqua con un poco di bisolfato di mercurio, sono immerse la lamina di zinco e la lamina di carbone: il mercurio fatto libero si unisce allo zinco, mantenendo l'amalgama di questo.

399. Pila a bicromato di potassa di Grenet. — La pila di Mariè-Davy è assai pregevole per avere eliminato l'acido azotico, i cui vapori sono nocivi. Lo stesso vantaggio offre la pila a bicromato di potassa ideata da Grenet, e per questo motivo assai adoprata in medicina. È tal pila ad un solo liquido, e così disposta. Una lamina di zinco può essere a piacere innalzata ed abbassata in un recipiente di vetro a largo collo, e trovasi tra due lamine di carbone coke, che non toccano esso zinco, e che sono immerse in una soluzione contenente un quarantesimo di bicromato di potassa, ed un quarantesimo di acido solforico, il qual liquido è posto dentro al detto recipiente. L'acqua si decompone, il suo ossigeno si unisce allo zinco, e l'idrogeno riduce il bicromato di potassa: si forma dell'ossido di cromo, che si deposita sullo zinco. Tal deposito diminuisce l'intensità della corrente; ma ad impedir ciò si soffia di tratto in tratto dell'aria tra le lamine di carbone e quella di zinco per mezzo d'un tubo: il liquido in tal modo agitato toglie il detto deposito.

400. Catena galvanica di Pulvermacher. — Merita menzione la *catena galvanica* di Pulvermacher. Ciascun anello di questa è formato da un piccolo cilindro di legno (fig. 203), sul quale sono avvolti ad elica due fili, uno di rame e l'altro di zinco,

collocati in due canali scavati nel legno e fra loro paralleli, cosicchè essi fili non si toccano. I due capi del filo di zinco d'un elemento sono uniti agli estremi corrispondenti del filo di rame dell'elemento precedente, e gli estremi del filo di rame sono congiunti a quelli del filo di zinco dell'elemento susseguente. Le estremità del filo di rame dell'ultimo cilindretto sono uniti ad un cilindro cavo di ottone, che porta una spugna bagnata, e che ha un manico isolante: in un consimile cilindro terminano gli estremi del filo di zinco del primo elemento. Si ha così una pila a catena flessibile, che serve ad usi medici. Quando si voglia adoprare quest'apparecchio, s'immerge la catena in un vaso contenente acqua acidulata con aceto, ed estrattala, si applicano le due spugne, che ne formano i poli a due punti della pelle, i quali comprendono la parte malata, che vuol farsi attraversare dalla corrente. Questa pila è assai energica sul principio, ma la sua attività è di breve durata.

401. Pila a secco di Zamboni. — Devesi ancora far parola della *pila a secco* costrutta dal Zamboni nel 1812. Si prendano moltissimi fogli della così detta carta inargentata, ma che in realtà è carta coperta da una parte con una sottilissima foglia di stagno. Il rovescio di questa carta si spalmi con ossido di manganese ridotto a minutissima polvere. Se ne formino dischi di 25 millimetri circa di diametro, e questi si sovrappongano l'uno all'altro in modo che la superficie inargentata dell'uno sia a contatto con quella coperta di manganese del seguente, e così di seguito. Sovrapposti 1200 a 1400 dischi si pongano a contatto con gli estremi della colonna due dischi di rame, si comprima essa colonna e si leghi con nastri di seta: si avrà in tal modo una pila, nella quale il disco di rame, che sta a contatto col manganese forma il polo negativo, e l'altro, che sta a contatto collo stagno il polo positivo. In questa pila, come vedesi, manca lo strato umido, ma ne fa le veci l'umidità, che naturalmente è sempre contenuta nella carta: lo stagno ed il manganese sono i metalli dell'elemento. Le pile a secco sono notabili per la loro durata, che si protrae a moltissimi anni; ma la loro energia è piccola e dipende dalla temperatura, essendo maggiore nella estate, minore nell'inverno, e l'azione d'un forte calore può ravvivarla, quando sembra estinta. Zamboni pose due delle sue pile l'una vicina all'altra, una dritta e l'altra capovolta, cosicchè mentre questa ha in alto il polo negativo, l'altra ci ha il positivo. Le parti inferiori comunicano col suolo, le superiori con due campanine metalliche, le quali per conseguenza sono sempre cariche di opposta elettricità. Un piccolo battaglio attaccato a filo di seta e collocato fra di esse produce un continuo scampanìo, battendo alternativamente sulle due campane.

402. Elettrometro di Bonhemberger. — Con due piccole pile a secco Berhens ha costruito uno dei più delicati elettroscopii, il quale comunemente chiamasi *elettrometro di Bonhemberger*. Consiste questo in una campana di cristallo, in cui dalla parte superiore internasi un fusto metallico, il quale nell'esterno termina con un bottone, mentre coll'altro sostiene una piccola foglia di oro. Pende questa fra due pile a secco di 300 coppie ciascuna, e trovasi a tale altezza, che descrivendo un arco di cerchio, non può

toccare la sommità delle pile, ma ne dista per un millimetro circa. Le pile sono poste sopra ad una lamina di ottone, e per mezzo di viti si possono più o meno tra di loro avvicinare: i loro poli poi che trovansi in alto sono di nome contrario. Toccando il bottone dell'apparato con un corpo, se la foglia non si muove, sarà segno non essere quel corpo elettrizzato, poichè in caso diverso l'elettricità di questo per il fusto passerà alla foglia d'oro, la quale sarà attratta dal polo di nome contrario di una delle due pile.

CAPO XII.

ELETTRO-MAGNETISMO

403. Relazione tra elettricità e magnetismo. — Fino dal tempo d'Epino, Cigna e Beccaria erasi osservato uno stretto rapporto tra i fenomeni magnetici ed elettrici. Mojon aveva magnetizzato alcuni fili d'acciajo, mettendoli in comunicazione tra i due poli d'una pila, ed il Romagnosi nel 1802, facendo sperimenti con una pila di Volta vicino ad un ago calamitato, si avvide, che stabilendo una comunicazione tra i due poli d' una pila per mezzo d'un filo metallico, l'ago faceva alcuni movimenti. Tali movimenti dell'ago calamitato furono meglio studiati da Oersted, il quale dedusse la legge, che poi fu formulata da Ampère, e che noi in altro luogo abbiamo già esposta (376).

404. Galvanometro. — Dalla legge di Oersted ed Ampère, ricavò Scheveigger il modo di costruire un utilissimo istrumento destinato a rendere sensibili e misurare le più deboli correnti elettriche, ed il quale si appella *moltiplicatore elettro-dinamico*, o *galvanometro*, od anche *roometro*. Per bene intendere il principio, sul quale questo è fondato, s'immagini che N S (fig. 204) sia un ago calamitato, e che un filo metallico ABCD passi parallelamente sopra di esso, e ripiegandosi in B, C, gli passi parallelamente sotto. Si supponga ancora, che una corrente elettrica entri per A ed esca per D. Posta la figurina, di cui si è parlato nel paragrafo 376, nel

tratto del filo A B, nel tratto B C, e nel tratto C D, ci persuaderemo, che la corrente, percorrendo ciascuna delle tre suddette parti del filo, deve dare un impulso all'ago, facendo piegare il polo nord verso l'ovest: che se la corrente entrasse in D ed escisse per A, si comprende che il polo nord nel ricevere le tre spinte devierebbe verso l'est. Ma se il filo metallico, invece di passare una sola volta sopra e sotto l'ago magnetico, facesse intorno a questo molti giri, moltissimi sarebbero gli impulsi, che la corrente nel percorrere il detto filo darebbe all'ago spostando il polo nord di questo o verso ovest, o verso est, in guisa che anche una debolissima corrente sarebbe bastante a deviare notevolmente l'ago Ciò notato, ci sarà facile il comprendere la costruzione ed il modo d'agire del galvanometro. A B (fig. 205) è un telaio parallelepipedo di rame, entro al quale si colloca l'ago calamitato N S sostenuto nel suo centro da un perno, od appeso ad un filo di seta. Un filo di rame vestito di seta si avvolge con grande numero di giri intorno al detto telaio. Se per uno degli estremi del filo si faccia entrare una corrente elettrica, e per l'altro si faccia escire, dovrà l'ago spostarsi, e dall'ampiezza dello spostamento si giudicherà qual sia l'intensità di essa corrente, la cui direzione verrà pure indicata dallo spostamento dell'ago. A tal fine si deve immaginare distesa nel lato superiore del rettangolo una figurina umana colla faccia rivolta in basso, ossia riguardante l'ago, e la quale abbia la sinistra rivolta a quella parte, ove piega il polo nord secondo la regola amperiana. La corrente in quella figurina entra per i piedi ed esce per il capo (376).

Mentre però la corrente tende a deviare l'ago, la forza direttrice della terra (360) tende a riportarlo alla sua normale posizione, presentando un ostacolo allo spostamento della magnete, il quale ostacolo diminuisce assai la sensibilità dell'apparato. A togliere questa imperfezione il Nobili sostituì al semplice ago magnetico un *sistema astatico*, il quale poco o nulla risente la forza direttrice terrestre. Tale sistema astatico è formato di due aghi calamitati NS, N'S' (fig. 206) uniti fra loro per mezzo d'uno stelo inflessibile *pq*, in maniera che l'uno si trovi parallelo all'altro, ma con i poli rovesciati. È manifesto che mentre il polo nord della terra attrae il polo N della calamita superiore, respinge il polo S' dell'inferiore e che per ciò le dette attrazione e ripulsione si elidono, purchè però i due aghi siano dotati di egual forza magnetica. Ma se l'uno sia più calamitato dell'altro, il sistema risentirà alquanto l'influenza della forza direttrice terrestre e la risentirà tanto più debolmente quanto minore è la differenza della forza magnetica dei due aghi. Se tra questi si fa passare parallelamente ai loro assi una corrente elettrica, colla solita regola amperiana si conoscerà che essa corrente, mentre tende a fare spostare il polo N dell'ago superiore in un senso, ad esempio verso est, tenderà a spingere il polo N' dell'inferiore nella parte contraria, cioè verso ovest, ond'è che il sistema astatico viene a ricevere un duplice impulso il quale lo devia in una medesima direzione. Il Nobili adunque sostituì nel galvanometro un sistema astatico all'ago semplice, facendo che uno degli aghi magnetici,

dai quali quello è formato, stia dentro al telaio (fig. 207) e l'altro sporga al disopra del lato superiore ove va a segnare i gradi di spostamento in un quadrante. Oltre che questo roometro è assai sensibile, perchè in esso poco o nulla influisce la forza direttrice della terra, lo è ancora perchè la corrente nel passare fra i due aghi comunica due impulsi al sistema, come poco fa abbiamo detto. Nè poi è da calcolarsi l'impulso contrario che dà all'ago esterno la corrente, allorchè passa nel lato inferiore del telaio, imperocchè quest'impulso è debolissimo, stante la distanza di questo lato dall'ago suddetto. Notare qui si deve che i gradi di spostamento non sono esattamente proporzionali alle intensità delle correnti, perchè quando l'ago sta nella sua normale posizione ha la corrente a sè parallela e vicina, la quale corrente per ciò con molta energia agisce su di esso: ma via via che l'ago si sposta, l'azione della corrente va diminuendo a motivo della sua obliquità e distanza relativamente all'ago.

405. Galvanometro per esperienze elettro-fisiologiche. — Allorchè si vogliono fare esperienze elettro-fisiologiche col galvanometro, bisogna che questo sia assai sensibile e per ciò il filo deve fare circa 24000 giri, e si deve badare di metterlo al sicuro dalle oscillazioni del terreno. Una mensola è fissata solidamente per mezzo di viti di rame ad un erto muro, e sopra questa si pone il roometro. Si pone l'ago allo zero, ovvero si nota il punto ove corrisponde il suo polo nord prima che passi la corrente. Per conoscer poi qual sia la direzione di questa quando l'ago si sposti da una parte, piuttosto di ricorrere alla legge di Ampère, è meglio usare del seguente metodo, il quale in pari tempo fa ancora conoscere la sensibilità dell'apparato. Ad una delle estremità ricurve d'un lungo tubo di vetro pieno d'acqua distillata s'immerge un filo di zinco, ed un altro di rame si tuffa nell'altro estremo, ed ambedue questi fili si uniscono agli estremi del filo del galvanometro. Si osservi in qual direzione devii il polo nord dell'ago superiore e da ciò saremo avvertiti, che ogni qual volta l'ago si sposta da quella parte, la corrente entra per quell'estremo del filo che prima comunicava col platino. Il risultato dell'esperienza si nota con cura. La sensibilità poi dell'apparecchio viene misurata dalla quantità di spostamento dell'ago ottenuta nell'enunciato esperimento preventivo.

406. Magnetizzazione d'una sbarra d'acciaio per mezzo della corrente. — L'influenza dell'elettricità sui fenomeni magnetici si rende ancor palese da che con una corrente elettrica si può magnetizzare una sbarra d'acciaio. Si prenda un filo metallico coperto di seta e con questo si formi un'elica entro cui pongasi un ago d'acciaio non calamitato. Si facciano quindi comunicare gli estremi del filo dell'elica coi poli di una pila. Dopo poco tempo l'ago si trova calamitato costantemente e la magnetizzazione sarà tanto più forte quanto maggiore è il numero delle volute dell'elica. Il medesimo effetto si ha, se ripetute scariche della bottiglia di Leyda (330) si fanno passare per l'elica. I poli dell'ago si trovano a' suoi estremi e per conoscere in quale di questi si forma il polo nord, basta immaginare la solita figurina

amperiana (376) distesa in una voluta colle spalle rivolte all'elica e la faccia all'esterno ed in modo che la corrente le entri per i piedi e le esca per il capo: il polo nord si forma alla sinistra della figurina. È necessario quindi distinguere le eliche in due specie, cioè in eliche *dextrorsum* ed in eliche *sinistrorsum*, la qual natura dell'elica si conosce in questo modo. Si pone questa verticalmente e considerati i giri nel loro andamento dal basso in alto dalla parte dell'osservatore, se essi vanno da sinistra a destra dell'osservatore stesso, la spirale è *dextrorsum*, ma se camminano da destra a sinistra l'elica è *sinistrorsum*. Col metodo poco fa esposto si viene a conoscere che se l'elica è *dextrorsum*, l'ago racchiuso in esso acquista il polo nord, nell'estremo rivolto alla parte per cui la corrente entra, ed il polo sud all'estremo rivolto alla parte per la quale la corrente esce. Viceversa se l'elica è *sinistrorsum*, dove entra la corrente si forma il polo sud, dove esce il polo nord.

407. Calamita temporanea di Sturgeon. — Se la spranga introdotta nell'elica non è di acciaio ma di ferro dolce, si calamita appena incomincia a passare la corrente, ma perde la potenza magnetica nell'atto stesso che s'interrompe il circuito elettrico. Da qui la costruzione delle calamite *temporanee* dette ancora *elettro-magneti* ideate da Sturgeon e che sono oltremodo potenti. Un cilindro di ferro dolce H (fig. 208) si piega a ferro di cavallo, le cui due branche si fanno passare entro a due rocchetti di legno A, B: con un lunghissimo filo di metallo vestito di seta si fanno due compatte eliche a moltissimi giri sui due rocchetti, e per avere negli estremi del cilindro di ferro i due poli magnetici di nome contrario, fa d'uopo badare che ambedue le eliche siano della stessa natura, cioè tutte due o *dextrorsum* o *sinistrorsum*, il che si ottiene col fare che il filo, dopo di aver formata la prima elica, attraversi a sbieco lo spazio, il quale separa le due branche e così vada ad avvolgersi al secondo rocchetto. Fatta passare per il filo metallico una corrente elettrica, la sbarra di ferro dolce si magnetizza ed è capace di reggere l'àncora M a cui sia attaccato un grosso peso P, che subito cade quando la corrente si interrompe.

408. Teoria d'Ampère. — La relazione che abbiamo veduto intercedere fra l'elettricità ed il magnetismo dette motivo al fisico francese Ampère di concepire una teoria intorno alla causa del magnetismo, secondo la quale i fenomeni magnetici non sono altro che fenomeni elettrici. La proprietà magnetica di una calamita, secondo Ampère, nasce da correnti elettriche circolanti continuamente intorno a ciascuna molecola della medesima perpendicolarmente alla retta la quale congiunge i due poli. La forza direttrice della terra ha origine, secondo questa teoria, da correnti elettriche che di continuo circolano intorno al globo in direzione dall'est all'ovest, ed in piani perpendicolari alla linea di congiunzione dei due poli magnetici.

409. Azioni delle correnti sulle correnti. — Ampère per dimostrare la sua teoria ha incominciato dal far conoscere le seguenti leggi: 1ª quando due correnti elettriche scorrono per due

fili mobili, se sono parallele e dirette nel medesimo senso, come in (*a*) (fig. 209), si attraggono; 2ª due correnti parallele e dirette in senso contrario, come in (*b*), si respingono; 3ª due correnti ad angolo che vadano ambedue verso il vertice dell'angolo, come in (*c*), o che procedano ambedue in senso opposto al detto vertice, come in (*d*), si attraggono; 4ª due correnti angolari, delle quali una proceda verso il vertice, dal quale l'altra si allontani, come in (*e*), si respingono; 5ª due correnti esistenti in piani paralleli, come in (*f*), se vanno verso una comune normale, o dalla medesima ambedue si allontanano, si attraggono, ma invece si respingono quando una procede verso la perpendicolare da cui si allontana l'altra. A rendere manifeste sperimentalmente queste leggi, bisogna render mobile una delle due correnti, il che si ottiene col seguente apparato. Sopra ad un tavolo (fig. 210) sorgono due colonne metalliche A, B piegate ad angolo retto e terminanti in due capsule di ferro C, D piene di mercurio. Un filo metallico DLHGFEC è piegato come mostra la figura ed i due suoi estremi poggiano sul fondo delle capsule C, D, cosicchè il rettangolo LHGF può girare intorno ad una verticale che divida a metà i lati orizzontali FL, GH. Dalla vite *n* comunicante colla colonna B parte un filo *p* di metallo vestito di seta, il quale si avvolge a molti giri intorno ad un telaio rettangolare V. Si faccia comunicare con *m* il polo positivo di una pila il cui polo negativo sta in comunicazione coll'estremo *g* del filo del telaio V. La corrente percorrerà l'apparecchio nel senso indicato dalle frecce. Se tengasi in mano il telaio V ed un suo lato MN si accosti ad un lato verticale del rettangolo mobile LHGF in posizione parallela a questo, si vedrà che, avvicinando NM ad FG, quest'ultimo rimane respinto dal primo e che al contrario avvicinando NM ad LH, nasce attrazione fra di essi. Lo stesso avverrà se il lato NM si tenga in direzione obliqua ai lati FG, LH, nascendo anche ora la ripulsione di NM col primo e l'attrazione col secondo. Si veggono adunque verificate le prime quattro leggi, e si potrà dimostrare in simil modo anche la quinta col porre il lato NO del rettangolo V più in basso e lateralmente ad HG in modo che, giacendo le due correnti in piani diversi ma paralleli, siano dirette in un medesimo senso od in senso opposto relativamente ad una comune normale. Queste mutue azioni delle correnti dànno modo di spiegare alcuni fenomeni, che hanno stretto rapporto colla teoria amperiana.

410. Azione d'una corrente orizzontale indefinita sopra una corrente orizzontale limitata e mobile intorno ad un asse verticale. — Supponiamo una corrente orizzontale indefinita diretta da E in O (fig. 211), ed una corrente AB orizzontale che proceda da A in B e mobile intorno al punto A in un piano orizzontale. Si prolunghi AB fino al suo incontro in C col filo per il quale passa la corrente indefinita EO. La parte CE di quest'ultima attirerà AB, perchè queste sono due correnti angolari che procedono ambedue verso il vertice dell'angolo. Al contrario la medesima corrente AB sarà respinta da CO, perchè sono due correnti, delle quali la prima procede verso il vertice dell'angolo da cui l'altra si allontana. Dunque la corrente mobile attirata verso E e respinta

da O si deve mettere in movimento dalla nostra sinistra verso la destra, ed andrà a porsi parallelamente ad OE in AB'. Allora si avranno due correnti parallele AB', EO dirette in senso contrario, onde si respingeranno. La corrente mobile pertanto procederà nel suo cammino, prendendo la posizione AB''. Si prolunghi AB'' fino in D, e sarà chiaro che le correnti ED, AB'' si devono respingere ed attrarsi le correnti DO, AB, per il che la corrente mobile dovrà proseguire nel suo moto rotatorio continuo nella direzione indicata dalla freccia. Ognuno dopo il detto è atto a comprendere che una corrente AB (fig. 212) diretta dal centro A alla periferia, mobile intorno ad un asse verticale A, ed influenzata da una corrente orizzontale EO fissa ed indefinita, posta al sud e diretta dall'est all'ovest, deve girare in senso inverso degli indici di un orologio, cioè dall'est all'ovest passando per il nord. Che se al contrario la corrente indefinita, conservando la medesima direzione dall'est all'ovest, fosse posta al nord in E'O', la corrente mobile dovrebbe girare nel senso degli indici d'un orologio dall'est all'ovest, passando per il sud. Se la corrente fissa invece di essere rettilinea si avvolgesse intorno alla circonferenza BC, si avrebbe l'istesso fenomeno, perchè essa corrente circolare potrebbe considerarsi come il complesso di un gran numero di piccolissime correnti rettilinee, nel modo stesso che si considera in geometria la circonferenza quale un poligono regolare di un numero infinito di latercoli. Ampère ha verificato sperimentalmente ciò che ora si è esposto. Ha formato un recipiente metallico (fig. 213) costituito da un fondo con due orli rilevati circolari LV, MN, e sostenuto da piedi isolanti. Un foro centrale MN è chiuso da un turacciolo di materia coibente, il quale è attraversato da un'asta metallica FH avente all'estremo superiore una coppa H, il cui fondo è assai levigato, e che si empie di mercurio. Su questa capsula poggia un estremo di un filo metallico ABC piegato in due punti ad angolo retto, e che coll'altro estremo pesca nell'acqua acidulata di cui è pieno il vaso anulare. Per equilibrare questo filo se ne pone in A un altro AED simillissimo al primo, e si annettono gli estremi C, D ad una lastra di rame piegata circolarmente a corona. Il secondo filo può interrompersi elettricamente con una laminetta d'avorio, o lasciarlo in comunicazione. Il polo positivo d'una pila comunica colla colonna centrale FH; la corrente ascende per questa, passa da A in B per discendere nella corona, e da essa per il liquido va alla parete del vaso. In un punto di questa sta attaccato l'estremo di un lungo filo metallico coperto di seta, che s'avvolge a moltissimi giri attorno ad un telaio circolare sostenuto dai piedi dell'apparato. La corrente percorre il detto filo e va a terminare al polo negativo della pila. Quando passa la corrente il filo AB gira nel senso che esige la precedente legge. Se anche il filo AED si lascia in comunicazione con A, si ha lo stesso effetto, perchè l'azione della corrente circolare è concordante sulle due correnti mobili.

411. Azione d'una corrente orizzontale sopra una corrente verticale mobile intorno ad un asse verticale. — Sia AB (fig. 214) una corrente verticale discendente mobile intorno ad un asse verticale YZ, al quale è congiunta. Una corrente indefinita

orizzontale EO, procedente da E verso O, si trovi nel medesimo piano verticale in cui giace AB, od in uno diverso, come supponiamo in figura. Si prolunghi AB finchè in *p* raggiunga il piano orizzontale QT, su cui giace la corrente OE, e si conduca la *p*C, comune perpendicolare alle due correnti. A partire dal piede C di questa normale prendiamo ad eguali distanze due elementi *m*, *n* della corrente indefinita, ed esaminiamo l'azione di questi sopra un elemento *e* della corrente discendente. In *m* ed *e* le correnti procedono ambedue verso la comune perpendicolare, onde secondo la 5ª legge del numero 409 vi sarà fra loro un' attrazione, che si potrà esprimere colla retta *ea*. In *n* ed *e* le correnti vanno una allontanandosi dalla normale *p*C, l'altra procedendo verso questa, e per ciò fra di loro vi sarà ripulsione, la quale si potrà esprimere colla retta *er*, che deve essere eguale ad *ea*. Compiuto il parallelogrammo *aer*R e condotta la diagonale *e*R, questa sarà la risultante delle dette attrazione e ripulsione (26), la quale risultante sarà parallela ad OE, perchè i due triangoli isosceli *nem*, *er*R, essendo simili ed avendo due lati paralleli, dovranno aver parallelo anche il terzo lato. Nel medesimo modo possiamo considerare decomposta tutta la corrente EO in tanti elementi, che presi due per due, uno a destra l'altro a sinistra di C, eserciteranno sugli elementi della AB una influenza, la cui risultante sarà sempre una forza parallela ad EO, la qual risultante metterà in movimento rotatorio la corrente AB, e l'obbligherà a fermarsi quando il piano ABYZ è addivenuto parallelo ad EO, trovandosi essa corrente dalla parte da cui viene la corrente indefinita. Risulta da ciò, che se una corrente, la quale procede da levante a ponente, agisce sopra di una corrente discendente mobile intorno ad un asse verticale, essa corrente discendente si deve porre a levante. Coll' identico modo si dimostra, che se la corrente mobile è ascendente, questa deve mettersi dalla parte verso cui si porta la corrente fissa indefinita, e per ciò nel caso accennato all'ovest. Pertanto qualora una corrente percorra un circuito mobile intorno ad un asse verticale, per l'azione d'una corrente fissa che vada da levante a ponente, dovrà il filo mobile percorso dalla prima disporsi in modo che il lato verticale di esso, in cui la corrente discende, stia a levante, ed a ponente quello in cui la corrente ascende.

412. Azione della terra sulle correnti mobili. — Dopo di avere mostrata la reciproca azione delle correnti, Ampère dimostrò, che intorno alla terra circolano di continuo correnti elettriche, le quali sono dirette da est ad ovest, e che sono più intense all'equatore. Provò l'esistenza delle dette correnti nel seguente modo. Nell'apparato espresso dalla figura 210 si tolga il conduttore fisso, e si stabilisca la comunicazione del polo positivo di una pila con *m*, e del polo negativo della medesima con *n*. Si vedrà che il conduttore mobile si pone a girare intorno ad un asse verticale, e non si ferma se non quando dopo varie oscillazioni il suo piano si è disposto perpendicolarmente alla direzione che prende un ago magnetico e si potrà verificare che il lato in cui la corrente discende si è posto ad est, e quello, in cui ascende, all'ovest. Dalle cose esposte nel precedente paragrafo si dedurrà ciò provenire da una

corrente fissa orizzontale diretta da levante a ponente e parallela al meridiano magnetico. Che poi la detta corrente sia più intensa all'equatore, cosicchè possa dirsi quasi in esso equatore concentrata, si suole dimostrare coi seguenti esperimenti. Dal piano XY (fig. 215) sorgono due colonne metalliche A, B portanti nella loro testa le due capsule di ferro *i*, *g* piene di mercurio; con un filo metallico si forma il conduttore mobile *ifhg*, il quale cogli estremi pesca nelle due capsule. L'apparato si colloca in maniera che il piano del conduttore mobile riesca parallelo all'equatore magnetico. Si fanno comunicare il polo positivo d'una pila colla colonna *m* posta a levante, ed il negativo colla *n* situata a ponente. Chiuso il circuito, subito il conduttore abbandona la posizione verticale, ed il lato *fh* piega verso il sud. Ma se l'esperimento, invece di farsi nel nostro emisfero, si faccia nell' emisfero australe, il detto lato si vedrebbe essere attratto verso il nord, cosicchè si può conchiudere che quando nel lato *fh* la corrente va da levante a ponente, esso è sempre attratto verso l'equatore: onde convien dire, che all'equatore specialmente è intensa la corrente terrestre. Se nel lato *fh* la corrente si faccia procedere da ponente a levante, essendo allora questa di direzione opposta alla corrente equatoriale, il lato rimane respinto verso il polo. Si riprenda in secondo luogo l'apparecchio rappresentato dalla figura 213, e tolto il moltiplicatore circolare, si stabilisca la comunicazione con i poli d'una pila come mostra la figura 216; si vedrà che sotto l'azione della corrente terrestre il filo mobile si pone a girare, e poichè nel nostro emisfero il detto filo gira in senso inverso di quello degli indici di un orologio, diremo che la corrente terrestre EO sta al nostro sud (411). Nell'altro emisfero il conduttore mobile gira nel senso degli indici dell'orologio, il che dimostra che la corrente sta al nord dell'apparato; per la qual cosa si deve di nuovo conchiudere, che la corrente elettrica terrestre percorre con maggior intensità l'equatore da levante a ponente.

413. Anello galleggiante di De-La-Rive. — L'influenza sui conduttori mobili percorsi da una corrente elettrica esercitata dalla corrente terrestre si dimostra ancora con altri semplicissimi apparati, il primo dei quali è l'anello galleggiante di De-La-Rive, od *anello elettro-dinamico* (fig. 217). Con un filo di rame vestito di seta, piegato circolarmente più volte si forma un anello M di un diametro di 6 o 7 centimetri. Ad un estremo *b* di detto filo sta saldata una lamina *bn* di zinco, ed all'altro estremo una lamina di rame ripiegata *aghl*. Le dette due lamine attraversano un disco *ef* di sovero tinto in nero col fumo di una candela, perchè non possa inzupparsi nell'acqua. Collocato tale apparecchio in un vaso pieno d'acqua acidulata, l'anello, mediante il detto disco, galleggia sul liquido. Si vede allora oscillare l'anello, che non si ferma se non quando il suo piano sia posto parallelo all'equatore magnetico, in modo che un asse che infilzi il suo centro perpendicolarmente al piano di esso anello, prende la direzione esattamente eguale a quella di un ago magnetico. Ciò proviene da che l'acqua acidulata intacca lo zinco, e per l'azione chimica (366) si svolge l'elettricità: lo zinco si elettrizza in meno, il liquido in più, e l'elettricità positiva dell'acqua passa

al rame, percorre il filo che forma l'anello, e ritorna allo zinco. Nell'anello adunque da una parte avremo correnti ascendenti, e dall'altra correnti discendenti, e per conseguenza le prime si porteranno ad est, le seconde ad ovest.

414. Solenoidi. — In secondo luogo i medesimi fenomeni si possono osservare nei *solenoidi*, o *cilindri elettro-dinamici*, i quali presentemente si sogliono formare così. Intorno ad un cilindro di midollo di sambuco (fig. 218) si volge a spira un lungo filo di rame coperto di seta. Agli estremi di detto filo sono saldate due lamine una di zinco e l'altra di rame disposte come quelle del precedente apparato. Posto il cilindro elettro-dinamico a galleggiare nell'acqua acidulata, deve presentare gli stessi fenomeni dell'anello di De-La-Rive, e deve rivolgere un suo estremo al sud, e l'altro al nord, affinchè la parte delle sue volute, in cui discende la corrente, stia ad est, e quella, in cui l'elettrico ascende, si trovi ad ovest. Posti due solenoidi a galleggiare nell'acqua acidulata, se si dispongano una di fronte all'altra la parte d'uno di essi che volgesi al nord, e quella che volgesi al sud dell'altro; queste parti si attrarranno, perchè si trovano di fronte due correnti che procedono nella stessa direzione (409). Che se si mettono dirimpetto le due parti, che si volgono od ambedue al sud, od ambedue al nord, avrà luogo fra di esse una ripulsione, perchè si stanno di fronte due correnti, le quali procedono in senso contrario. In una parola i solenoidi manifestano tutti i fenomeni, che si producono cogli aghi calamitati.

415. Spiegazione dei fenomeni magnetici. — Con i sopradetti esperimenti Ampère appianò la via alla teoria da sè immaginata. S'ammetta, che intorno a ciascun corpo magnetizzato circolino correnti elettriche parallele fra di loro, dirette in un medesimo senso, e con i loro piani perpendicolari all'asse magnetico; o meglio si supponga, che ciascuna molecola della calamita sia circondata da una corrente elettrica, e sarà chiara la spiegazione di tutti i fenomeni magnetici Invero, la corrente terrestre obbligherà gli aghi magnetici a girare in modo, che quella loro parte, in cui le correnti molecolari discendono, sia a levante, ed a ponente quella, in cui le correnti suddette ascendono. Rivolger quindi deve costantemente una magnete un polo al nord, e l'altro al sud. I due poli poi non diversificano fra di loro, che nella direzione della corrente. Difatti, collochiamoci di fronte al polo sud d'una calamita (fig. 219); avremo alla nostra sinistra la corrente ascendente, ed alla destra la discendente: ma se ci poniamo dirimpetto al polo nord, avremo a sinistra la discendente e l'ascendente alla destra. Ne viene quindi, che collocati di fronte due poli di nome contrario, dovranno attrarsi, perchè così vengono a trovarsi vicine due correnti, che vanno nel medesimo senso; ma se si avvicinino due poli dello stesso nome, si respingeranno, perchè stanno di fronte due correnti, che hanno diversa direzione.

La corrente terrestre non percorre esattamente l'equatore magnetico, ma una curva irregolare, che taglia più volte l'equatore medesimo, e questa via percorsa dalla corrente va oscillando. Al tratto corrispondente di questa tendono a mettersi parallele le correnti d'una calamita, e da ciò vengono spiegate la declinazione, e le sue

variazioni da luogo a luogo, ed in un luogo medesimo (356). L'inclinazione poi (357) si spiega così. Trovandosi a levante (fig. 219) quella parte della magnete, in cui la corrente elettrica discende, ne viene che nella parte superiore di essa calamita la corrente vada da ovest ad est, e nella parte inferiore da est ad ovest. Dunque siccome il lato superiore è percorso da una corrente, che procede in senso contrario di quella, la quale percorre l'equatore, il detto lato deve essere dall'equatore respinto, e verrà invece attratto il lato inferiore, perchè la corrente, che in esso passa, va nella medesima direzione della corrente equatoriale. Ora se dall'equatore è respinto il lato superiore della magnete, ed attratto l'inferiore, necessariamente il polo all'equatore opposto deve abbassarsi.

Per dare ragione della proprietà che ha la calamita di comunicare il potere magnetico al ferro ed all'acciaio si ammette che queste sostanze abbiano naturalmente correnti elettriche circolanti intorno alle loro molecole, le quali correnti però non sono fra loro parallele, nè tutte rivolte nel medesimo senso; ond' esse sostanze non si mostrano dotate delle prerogative magnetiche. Ma quando sopra una di esse si fa passare un polo d'una calamita, questo non fa altro che ordinare le correnti elettriche molecolari, disponendole tutte parallele fra loro e rivolte nel medesimo senso, per il che il corpo deve addivenire magnetizzato. Se non che quando il ferro, il quale si assoggetta alla magnetizzazione, è dolce, subito allontanato il polo magnetizzante, le correnti molecolari si riconfondono come prima, e per ciò il ferro perde in un tratto l'acquistato magnetismo; la qual cosa non avviene nell'acciaio, in cui la presenza del carbonio, come oppone un ostacolo all'ordinamento delle correnti, così impedisce che queste tornino a confondersi dopo che sono state ordinate.

Facilissima pure è la spiegazione che secondo la teoria ampereriana dassi allo spostamento dell'ago magnetico, il quale ha luogo nel passaggio d'una corrente elettrica vicina, come osservò Oersted (376). Le correnti elettriche dell'ago tendono a mettersi parallele a quella che percorre il filo congiuntivo, e a procedere nel medesimo senso di questa, e da qui nasce lo spostamento del polo nord a destra o a sinistra, in alto od in basso a seconda del lato della calamita a cui si appressa il detto filo congiuntivo.

416. Movimenti rotatorii d'una calamita prodotti da una corrente elettrica. — Colla teoria d' Ampère si rende pure ragione dei moti rotatorii d'una calamita prodotti da una corrente elettrica, i quali moti si ottengono col seguente apparato (fig. 220). Da un tavolo sorgono due colonne metalliche piegate ad angolo retto A, B, le quali portano due punte di ferro C, D volte in basso. Fra le dette colonne vi è un vaso di cristallo E contenente mercurio. In questo galleggia una sbarra cilindrica calamitata F, che vedesi a parte in F'. È essa zavorrata in modo, che galleggiando rimane verticale, e porta nella sua sommità una piccola capsula di ferro in cui pure si pone del mercurio. La punta C tocca il mercurio posto sulla detta capsula, e la punta D quella che trovasi nel vaso E. Se si stabilisca la comunicazione tra la colonna A ed il polo positivo d'una pila, e tra la colonna B ed il polo negativo della

medesima, la corrente percorrerà la colonna A ascendendo, discenderà poi per la punta C, e per la calamita, e per mezzo del mercurio del vaso passerà alla punta D, da questa alla colonna B, e dalla colonna al polo negativo. Farebbe poi un viaggio tutto opposto, se il polo positivo si facesse comunicare con B ed il negativo con A. Nel primo caso, subito chiuso il circuito, la calamita si pone a girare in senso opposto a quello in cui vanno le correnti, che secondo la teoria amperiana circolano naturalmente nella magnete, mentre nel secondo caso la rotazione della sbarra è nel senso stesso delle correnti naturali. Ecco qual sarebbe la spiegazione del fenomeno. Il cerchio *fdg* (fig. 221) rappresenti una sezione orizzontale del vaso, ed *abcm* quella del cilindro magnetizzato; *ba*, *mc* figurino la corrente che naturalmente circola intorno alla calamita. La corrente della pila, la quale nel primo caso dall'asta calamitata passa per il mercurio alla punta comunicante col polo negativo, può essere rappresentata dalla freccia *of*. Confrontando *of* colla parte di corrente *ba* e coll'altra parte *cm*, si vede che *ba* deve essere attratta da *of*, da cui invece è respinta *cm* (409). Sarà pertanto costretta l'asta calamitata a ruotare in senso contrario a quello delle sue correnti. Nel secondo caso la corrente *of* cammina in senso contrario, e per ciò respinge *ba* ed attrae *cm*, onde la calamita dovrà girare nella direzione delle sue correnti.

417. Altra teoria sull'elettro-magnetismo. — Quantunque l'esposta teoria d'Ampère sembri ottimamente dare ragione di tutte le relazioni, che passano tra le correnti elettriche, e le magneti, pure fu vigorosamente contraddetta dal Fusinieri e lo è ancora al presente specialmente dai chiarissimi Giovanni Cantoni ed Enrico Del-Pozzo. Sono molte le obbiezioni fatte alla teoria amperiana; eccone alcune: 1ª Negli elettrometri non si può eccitare e mantenere la corrente elettrica senza un proporzionato e continuo dispendio di moti o chimici, o meccanici, o termici: come adunque possono senza dispendio di alcuna forza mantenersi le correnti elettriche supposte da Ampère nelle molecole dei corpi calamitati? 2ª Per rendere manifeste le attrazioni e le ripulsioni fra due correnti elettriche si richiede l'uso d'un elettro-motore di grande potenza, ad esempio d'una pila di 8 a 10 grossi elementi alla Bunsen, mentre una calamita anche debole accostata al filo congiuntivo d'una pila basta ad imprimere un ben notevole moto in questo di attrazione o di ripulsione. Come potrà attribuirsi tanta efficacia alle piccole correnti elettriche molecolari d'un corpo magnetizzato? 3ª Per qual causa le correnti elettriche nel ferro dolce, tosto che si allontana il polo magnetizzante, tornano a confondersi, mentre secondo Ampère stesso dovrebbero tendere a mettersi parallele fra loro? 4ª Come è, che esistono correnti intorno alla terra ed intorno alle molecole dei metalli magnetici senza che vi siano dei fili conduttori, che ad esse porgano e mantengano la via? Per queste ed altre ragioni il Cantoni rifiuta la teoria d'Ampère, ed adotta un'altra ipotesi, che ideata da Scheveigger fu sostenuta da Biot, da Faraday e da molti altri. Mentre secondo Ampère le attrazioni e ripulsioni magnetiche debbonsi ripetere da correnti elettriche, secondo l'altra ipotesi le attrazioni e ripulsioni delle correnti elet-

triche sarebbero effetti d'azioni magnetiche. Si ammetta che le molecole dei corpi siano come tante piccole magneti, ma non orientate, bensì con i poli rivolti in tutte le direzioni. Se una corrente elettrica passa per essi corpi, le molecole vengono tutte a rivolgere i poli omonimi da una medesima parte. Rappresenti M (fig. 222) la sezione d'un filo metallico percorso da una corrente, e s'immagini, che nell'asse si adagi una persona coi piedi rivolti al polo positivo, ossia in modo, che la corrente le entri per i piedi ed esca per il capo: le molecole si saranno così orientate, che, in qualunque parte quella persona si volga, avrà alla sua sinistra il polo nord *b* ed alla destra il polo sud *a* delle molecole, che le stanno di fronte. Se adunque per i due fili metallici N, O paralleli passino due correnti elettriche aventi una medesima direzione, le parti che si stanno di fronte avranno poli contrarii, e per conseguenza tra i due fili conduttori vi sarà attrazione, e vi sarà invece ripulsione tra i due fili metallici P, Q, che sono percorsi da correnti, le quali procedono l'una in direzione contraria a quella dell'altra, perchè le facce dei conduttori, che si prospettano, presentano poli dello stesso nome.

CAPO XIII.

INTENSITÀ DELLA CORRENTE ELETTRICA

418. Modo di calcolare l'intensità della corrente. — L'intensità d'una corrente si misura dagli effetti che può produrre e specialmente dallo spostamento d'un ago calamitato. Quando le correnti siano assai deboli, cosicchè non facciano spostare l'ago del galvanometro (404) per 90°, questo apparato è bastevole a farci conoscere l'intensità della medesima. Ma se le correnti siano tali da far deviare l'ago per 90°, allora non si può far più uso del galvanometro, poichè producendo le correnti, le cui intensità si vogliono misurare, un eguale spostamento dell'ago, cioè uno spostamento di 90°, che è il massimo, non potremo sapere quale di esse sia più intensa e quale meno. In questo caso è necessario diminuire la sensibilità del galvanometro, facendo che l'ago magnetico sia unico, e che il filo, per cui passa la corrente, non sia

a molti giri. Su questo principio è basata la costruzione della *bussola dei seni*, e della *bussola delle tangenti*, che ora passiamo a descrivere.

419. Bussola dei seni. — La bussola dei seni inventata dal Prof. De-la-Rive è formata da un ago magnetico orizzontale $b\,a$ (fig. 223), che è imperniato in una punta verticale al centro d'un telajo rettangolare e verticale, in cui un filo metallico vestito di seta s'avvolge, ma con pochi giri. Nel punto di mezzo dell'ago sta annesso un leggerissimo indice d'ottone, che rimane sempre normale alla direzione dell'ago medesimo. L'estremità affilata di quest'indice viene a porsi sopra un punto segnato su d'un'alidada A fissata normalmente alla base del rettangolo, e moventesi con esso sopra un cerchio orizzontale diviso in gradi e frazioni di grado: l'alidada poi è munita d'un verniero (5). Quando si vuole adoprare l'apparato, si incomincia dal mettere la bussola perfettamente orizzontale, e poi si orienta in modo il rettangolo, che l'indice d'ottone passi per il segno fissato sull'alidada, e sia diretto secondo una linea che vada da 0° a 180° del cerchio graduato, linea che sarà allora perpendicolare alla direzione dell'ago magnetico racchiuso nel telajo. Si fa dopo ciò passare la corrente per il filo, che si avvolge nel rettangolo, e tosto l'ago verrà a spostarsi per un certo numero di gradi. Bisogna per mezzo di un bottone girare il rettangolo, cosicchè questo torni a mettersi col suo piano coincidente all'ago magnetico, il che si sarà ottenuto, quando la punta dell'indice d'ottone sarà tornata sopra il segno fissato nell'alidada. Non vi è dubbio che l'angolo di spostamento di questa è uguale all'angolo di spostamento dell'ago. Se la corrente è costante, il detto angolo si mantiene pure costante. Misurati con questo metodo gli angoli di spostamento prodotti da due correnti, le intensità di esse potranno confrontarsi, essendo proporzionali ai seni degli angoli suddetti. Difatti sia NS (fig. 224) la direzione del meridiano magnetico, e supponiamo che l'ago calamitato ab sotto l'azione d'una corrente elettrica si sia spostato per un angolo o. La risultante delle forze, che spostano l'ago a motivo della suddetta corrente, agendo sempre perpendicolarmente all'ago, potrà rappresentarsi colla retta ac, e la chiameremo con f. La forza direttrice della terra (280), agendo sempre parallelamente ad SN, si dovrà esprimere colla retta aT parallela ad SN. Si decomponga la forza aT nell'am opposta ad ac e nell'an avente la medesima direzione dell'ago, col formare il rettangolo Tman (28). La forza an resta distrutta, e rimane solo am, la quale, perchè si abbia l'equilibrio, e l'ago rimanga fermo, è necessario che sia eguale ad $ac = f$. Si rifletta, che gli angoli v ed o sono eguali tra di loro, che i lati d'un triangolo sono proporzionali ai seni degli angoli opposti, e che il seno dell'angolo retto è eguale al raggio 1. Dopo ciò per il triangolo rettangolo Tma potremo fare

$$aT : am = 1 : \text{sen.}\,v, \text{ ossia } aT : f = 1 : \text{sen.}\,o$$

da cui si ricava

$$f = aT \times \text{sen.}\,o.$$

Se ora si chiami f' la intensità di un'altra corrente che devii l'ago per un angolo o', si avrà $f' = a\mathrm{T} \times \mathrm{sen.}\, o'$; onde avrà luogo la seguente proporzione:

$$f : f' = \mathrm{sen.}\, o : \mathrm{sen.}\, o'.$$

420. Bussola delle tangenti. — Meno della precedente è usata la bussola delle tangenti la quale consiste in una lastra AB (fig. 225) di râme piegata in forma di corona verticale cogli estremi C vicini e paralleli, che pescano in due distinti vasi pieni di mercurio ed in cui terminano i fili che comunicano coi poli di una pila abbastanza lontana, affinchè nessun'azione si eserciti sull'ago magnetico, il quale sta nel centro dell'anello AB, fuorchè quella della porzione di corrente, che percorre la lastra di rame. L'ago è di piccola dimensione e porta un leggiero indice d'ottone al suo mezzo congiunto ad angolo retto, il quale va ad indicare i gradi di spostamento subíto dall'ago su di un cerchio graduato orizzontale. La differenza essenziale tra questa e la precedente bussola è che l'anello di rame della bussola delle tangenti coincide sempre col meridiano magnetico, essendo immobile, mentre al contrario il moltiplicatore della bussola dei seni è mobile, e come dicemmo, si tiene sempre col suo piano parallelo all'ago che si va spostando. Le intensità delle correnti sperimentate colla bussola delle tangenti sono proporzionali alle tangenti degli angoli di spostamento. Eccone la dimostrazione. Sia NS (fig. 226) la direzione del meridiano magnetico e per l'intensità di una corrente l'ago calamitato ba siasi da questa spostato per un angolo o. Si rappresenti con $a\mathrm{T}$ parallela ad SN la forza direttrice della terra, che chiameremo con T e che potrà decomporsi nelle an, am, la prima nella direzione dell'ago e l'altra a questa perpendicolare. La forza f con cui la corrente sposta l'ago, si dovrà rappresentare con ia non più perpendicolare ad ab come nel caso precedente, ma bensì ad NS, e si potrà essa pure decomporre nelle due al ed ah, la prima nella direzione dell'ago, la seconda normale al medesimo. Rimanendo senza effetto le due forze an, al, restano a considerarsi le altre due cioè am ed ah, le quali, onde abbia luogo l'equilibrio, debbono essere fra di loro eguali. Si osservi che gli angoli o, r sono eguali, come pure lo sono o, v, e perciò per il triangolo rettangolo aih si avrà $z = \mathrm{comp.\ di}\ o$. Notato tutto ciò, per il triangolo rettangolo $\mathrm{T}ma$ avrassi:

$$\mathrm{T} : am = 1 : \mathrm{sen.}\, o, \qquad \text{e quindi } am = \mathrm{T} \times \mathrm{sen.}\, o.$$

e per il triangolo aih $\;f : ah = 1 : \cos.\, o$, e perciò $ah = f \times \cos.\, o$. Ma abbiamo detto essere $am = ah$; dunque sarà ancora

$$f \times \cos.\, o = \mathrm{T} \times \mathrm{sen.}\, o, \text{ da cui viene } f = \mathrm{T} \times \frac{\mathrm{sen.}\, o}{\cos.\, o}$$

ed essendo il seno diviso per il coseno eguale alla tangente, si avrà in fine $f = \mathrm{T} \times \mathrm{tang.}\, o$. Per un'altra corrente che sposti l'ago calamitato per un angolo o' si avrà parimente $f' = \mathrm{T} \times \mathrm{tang.}\, o'$, e per ciò si potrà scrivere la proporzione

$$f : f' = \mathrm{tang.}\, o : \mathrm{tang.}\, o'.$$

421. Reostato. — Avviene spesso, come si vedrà in seguito, che si debba od allungare od accorciare il filo con cui si stabilisce la comunicazione tra i due poli di una pila. A tale scopo serve assai bene un apparato detto *reostato* inventato da Weheatstone. È composto esso di due cilindri orizzontali e paralleli, uno di legno e l'altro di metallo, i quali possono girare intorno ai propri assi, i cui estremi sono imperniati nelle pareti opposte di una cassetta. La superficie del cilindro di legno ha una solcatura ad elica a passo brevissimo. Un estremo di questo cilindro porta una guarnitura metallica, alla quale è congiunta l'estremità di un filo di rame di un millimetro di diametro, il qual filo si avvolge su tutta l'elica scavata e poi va a terminare all'estremo del cilindro metallico. Due molle metalliche si appoggiano sulle due guarniture pure di metallo dei due cilindri e comunicano con due fili deferenti che vanno a compiere il circuito. Una corrente che entri per una delle dette molle, ad esempio con quella la quale tocca la guarnitura del cilindro di legno, è obbligata a percorrere tutta quella parte del filo di rame che è avvolta al cilindro stesso, perchè il legno è coibente, ma tosto che la corrente passa all'altro cilindro, non percorre più il resto del filo di rame in quest'ultimo avvolto, ma va direttamente per il cilindro metallico all'altra molla per terminar poi a percorrere il restante del circuito. Se pertanto il filo di rame si fa svolgere di più dal cilindro di legno ed avvolgere in quello di metallo, si abbrevia il circuito che deve essere percorso dalla corrente, e viceversa. Per ottenere poi che il filo facilmente si avvolga o si svolga di più in uno dei due cilindri, s'impiegano tre ruote dentate del medesimo diametro e munite di un egual numero di denti. L'asse di ciascun cilindro porta una di queste ruote e la terza è interposta alle altre due, ed è ad essa annessa una manovella, girando la quale o in un senso o nell'altro, il filo s'avvolge di più o nel cilindro di metallo od in quello di legno. A quest'ultimo sta congiunto un contatore che indica il numero dei giri da esso cilindro fatti, cosicchè si può conoscere di quanto siasi accorciato od allungato il circuito, quando si sappia qual sia la lunghezza di una voluta.

422. Resistenza del circuito. — Una corrente deve percorrere il filo che mette nell'esterno in comunicazione i due poli della pila e di più deve attraversare gli elementi della pila stessa per ritornare al polo positivo da cui è partita (370). La corrente incontra una resistenza tanto nel percorrere il circuito esterno, quanto nel passare per la pila. Parlar prima dobbiamo della resistenza opposta alla corrente del circuito esterno. Diciamo in primo luogo che l'intensità della corrente diminuisce allorchè si aumenta la lunghezza del suo circuito, il che si dimostra col reostato. Una pila a corrente costante è messa in comunicazione con una bussola dei seni (419) e con un reostato, in modo che la corrente sia obbligata a percorrere tutto questo circuito. Il filo del reostato sia sul principio tutto avvolto sul cilindro metallico, e fatta passare la corrente, si osservi la deviazione dell'ago magnetico della bussola. Si fa quindi girare il cilindro di legno, cosicchè la corrente debba percorrere una certa lunghezza del filo del reostato,

e si vedrà tosto diminuire la deviazione dell'ago, e con ciò ci viene dimostrato, provare la corrente una certa resistenza nel percorrere il filo. Più si aumenta la lunghezza di questo, più si vede diminuire l'intensità della corrente. Facile cosa è poi il misurare ed il confrontare la resistenza presentata dai vari corpi, con cui si forma il circuito. Si abbia difatti un filo metallico, di cui si conosca la lunghezza ed il diametro e si tratti di determinare la lunghezza del filo del reostato che presenti la medesima resistenza. Sia P (fig. 227) una pila a forza costante, B la bussola dei seni, R il reostato, *c*, *d* due piccole e vicine capsule piene di mercurio, *afb* il filo che si vuole sottoporre all'esperimento. Si stabiliscono le comunicazioni fra le varie parti dell'apparato, come indica la figura; se non che la comunicazione tra *c* e *d* invece di farla col filo *afb*, si faccia coll'arco metallico A. L'ago della bussola devierà e la sua deviazione rimarrà poi sempre la stessa, se la pila è realmente a forza costante. Si tolga dipoi l'archetto A, collocando in sua vece il filo *afb*. A motivo della resistenza ora introdotta, l'ago devierà meno di prima, e per riottenere la deviazione primiera, saremo costretti di girare i cilindri del reostato in modo che parte del filo di rame, il quale prima si avvolgeva nel cilindro di legno, si avvolga in quello di metallo. Riavutasi così la primiera deviazione, ognuno comprenderà che la resistenza presentata dal filo *afb* è eguale a quella del filo di rame, che ora si è fatto passare da un cilindro all'altro. Se il filo *afb* si prenda di una lunghezza doppia, vedremo doversi svolgere una doppia quantità del filo del reostato per avere la medesima deviazione: ma se, mantenendo la medesima lunghezza del filo *afb*, si faccia doppia la sua sezione, per ottenere la stessa deviazione dell'ago ci basterà svolgere una metà sola di prima del filo reostatico. Da questi e da consimili esperimenti si deduce che la resistenza offerta dal filo è nella ragion diretta della sua lunghezza e nell'inversa della sua sezione. Quando il filo *afb* fosse lungo un metro ed avesse il diametro di un millimetro, quale è il diametro del filo del reostato, la diversità di resistenza notata dalla diversità di lunghezza del filo *afb* e del filo svolto nel reostato, si dovrebbe necessariamente ripetere dalla diversità di materia dei due fili. Che se il filo non sia lungo un metro ed il suo diametro non sia un millimetro, per determinare la relazione che passa fra le resistenze offerte alla corrente dalle due sostanze, si ricorrerà al seguente facile calcolo.

Si supponga che *afb* sia lungo millimetri q ed abbia un diametro di millimetri d, e che per ottenere il medesimo spostamento dell'ago siansi dovuti svolgere del filo del reostato metri l. Essendo la resistenza nella ragione diretta della lunghezza del filo, se la lunghezza di *afb* fosse d'un solo millimetro, la sua resistenza corrisponderebbe a quella del filo del reostato lungo metri $\frac{l}{q}$ e se il primo fosse lungo un metro sarebbe $\frac{1000\,l}{q}$. Ecco ridotto, per così dire, il filo alla lunghezza d'un metro: dobbiamo però ridurlo ad avere per diametro un millimetro. Abbiamo veduto, la resistenza

essere nella ragione inversa della sezione del filo, ossia nella ragione inversa del quadrato del diametro; dunque chiamando x la lunghezza del filo del reostato di egual resistenza di quella del filo sperimentato, quando questo abbia per diametro un millimetro, si avrà la proporzione

$$x : \frac{1000.l}{q} = d^2 : 1 \ ; \ \text{onde} \ x = \frac{1000.l.d^2}{q}.$$

Per determinare la resistenza che presentano i liquidi, si fa uso del tubo di vetro verticale T, il quale nell'estremo inferiore porta un disco di rame d' comunicante con un filo metallico b'. La bocca superiore del tubo è chiusa da un turacciolo, che è attraversato da un'asta di rame, la quale porta un secondo disco di rame d'' di diametro minore di quello del tubo. L'asta ed il disco possono essere innalzati ed abbassati, scorrendo la detta asta nel turacciolo a sfregamento. Si empia il tubo del liquido, la cui resistenza si vuole conoscere, e posti i due fili a', b' a contatto del mercurio delle vaschette a, b, si vede la deviazione che ha luogo nell'ago della bussola. Si diminuisce dopo ciò l'altezza della colonna liquida di una data quantità, ad esempio d' un centimetro, si abbassa il disco d'' per riporlo a contatto del liquido, e si fa di nuovo passare la corrente. Per la diminuzione di resistenza, l'ago si sposterà più di prima, e per riportarlo alla primiera deviazione, si dovrà accrescere la resistenza presentata dal reostato, facendo avvolgere una conveniente parte del filo metallico sul cilindro di legno. La resistenza della detta parte di filo sarà eguale a quella opposta da una colonna del liquido sperimentato alta un centimetro. Col calcolo superiormente esposto si deduce qual sarebbe la resistenza di esso liquido, quando la colonna fosse alta un metro ed avesse un diametro eguale ad un millimetro.

Con i sovraesposti metodi si è potuta formare una tavola delle resistenze opposte da varie sostanze, la cui lunghezza sia un metro, ed il diametro un millimetro.

Rame	1, 0
Ferro	7, 5
Platino	11, 8
Mercurio	50, 7
Acido azotico	976000, 0
Acqua satura di solfato di rame . .	16800000, 0
Acqua distillata	6700000000, 0

Risulta da questa tavola, che i liquidi presentano alla corrente una massima resistenza. Basti il notare, che una colonna d'acqua d'un millimetro di diametro e d'un metro d'altezza presenta alla corrente elettrica quella stessa resistenza, che le presenterebbe un filo di rame d'egual diametro, ma di una lunghezza eguale a 167 meridiani terrestri.

423. Resistenza interna della pila. — Se tanta è la resistenza dei liquidi, la corrente elettrica dovrà subire un ostacolo nell'attraversare l'interno della pila a cagione dei liquidi, che si

trovano negli elementi. La realtà di questo ostacolo si dimostra sperimentalmente nel seguente modo. Si prenda un elemento di Smée formato d'una lamina Z di zinco (fig. 228) e di un'altra P di platino. Queste s'immergano parallelamente nell'acido solforico diluito ad una data distanza fra loro entro al recipiente AB molto lungo. Si osservi nella bussola dei seni l'angolo di spostamento prodotto nell'ago magnetico dalla corrente generata, e quindi la lamina di platino si porti in P' ad una distanza doppia da Z: si vedrà diminuire l'angolo di spostamento. Trovati nelle tavole i seni dei due angoli, risulterà il secondo essere la metà del primo. Ora essendo i seni suddetti proporzionali alle intensità delle correnti (419), ne dedurremo essere nel secondo caso l'intensità della corrente la metà della prima; segno manifesto, che essendosi resa doppia la quantità di liquido attraversata dalla corrente nell'interno dell'elemento, doppia pure è divenuta la resistenza interna.

424. Legge di Ohm. — Relativamente all'intensità della corrente è celebre la legge di Ohm, la quale si enuncia così. L'intensità della corrente elettrica è nella ragione diretta della forza elettromotrice, e nell'inversa della somma delle resistenze interna ed esterna. La forza elettro-motrice è quella, che al contatto della lamina ossidabile col liquido separa le due elettricità, cedendo la negativa al metallo, la positiva al liquido, e che impedisce la riunione di esse (366), la qual forza dipende dalle varie sostanze di cui la pila è formata. Chiamiamo E tal forza, I l'intensità della corrente, R la resistenza interna della pila, unita a quella del filo della bussola e quella dei reofori, e finalmente r la resistenza esterna, ossia del circuito, che si aggiunge, ad esempio la resistenza del filo del reostato, che si avvolge sul cilindro di legno: la legge di Ohm potrà esprimersi colla formola $I=\frac{E}{R+r}$. La verità della formola, e quindi della legge si può così dimostrare. Si prenda un elemento a forza costante, ad esempio di Daniell (395), e si chiuda il circuito per mezzo d'una bussola dei seni e del reostato. Introducasi nel circuito una lunghezza di filo reostatico, la cui resistenza r sia nota, e si misuri l'intensità I della corrente. Si ripeta poi l'esperienza coll'introdurre nel circuito invece della resistenza r un'altra resistenza r', e si misuri pure l'intensità I'. Avremo le due seguenti equazioni:

$$I=\frac{E}{R+r},\quad I'=\frac{E}{R+r'}.$$

Per mezzo di queste equazioni, nelle quali I, I', r, r' sono quantità note, potremo trovare i valori delle due incognite E ed R. Se si faccia una terza consimile esperienza, per la quale si abbia una terza equazione $I''=\frac{E}{R+r''}$, e si confronti questa con una delle due precedenti, si avranno per E ed R i medesimi valori; il che non potrebbe aver luogo, se le equazioni non fossero vere, cioè se non fossero vere la formola e la legge.

425. Comparazione delle forze elettro-motrici di due elementi. — Quando si vogliano confrontare tra di loro le forze elettro-motrici di due diversi elementi, bisogna fare per ciascuno di essi il lavoro, che abbiamo poco fa indicato. Ci dobbiamo cioè formare due equazioni $I=\frac{E}{R+r}$, $I'=\frac{E}{R+r'}$, e da queste dedurre il valore di E del primo elemento, e da due consimili equazioni dobbiamo ricavare il valore E' del secondo. Dopo ciò si confrontano tra loro E ed E', prendendo per unità uno di essi valori. In tal modo si vedrà, che se chiamisi con 1 la forza elettro-motrice di un elemento alla Daniell, quella d'un elemento di Grove viene espresso da 1, 7. Facendosi col metodo descritto il confronto delle forze elettro-motrici, di due elementi della medesima specie, ma uno di minori, e l'altro di maggiori dimensioni; si vedrà, che le forze suddette sono eguali; e bene sta, perchè la forza elettro-motrice non dipende dalle dimensioni dell'elemento, ma dalla natura di questo, ossia dalla natura delle azioni chimiche, che hanno luogo in esso.

426. Accoppiamento degli elementi. — Volendosi formare una pila con più elementi, questi si possono accoppiare fra loro, disponendoli in *serie* od in *batteria*. Nel primo modo tutti gli elementi stanno disposti in guisa, che il polo positivo del primo comunichi col negativo del secondo, il positivo del secondo col negativo del terzo, e così via via, come vedesi in (*a*) (fig. 229). Si dice poi che gli elementi sono riuniti in batteria, quando si congiungono insieme tutti i poli positivi, ed insieme tutti i poli negativi, come osservasi in (*b*). Ora domandiamo: quando deve usarsi la prima disposizione e quando la seconda? La formola di Ohm serve a risolvere il quesito. In primo luogo gli elementi siano disposti in serie. Essendo E la forza elettro-motrice d'un elemento, la somma di tutte le forze elettro-motrici, che hanno luogo in tutta la pila di n elementi, sarà nE. Essendo poi R la resistenza interna presentata da un elemento, la somma di tutte le resistenze interne incontrate dalla corrente elettrica sarà nR, onde l'intensità di questa per la formola di Ohm verrà espressa da $I=\frac{nE}{nR+r}$. Suppongasi adesso che la resistenza r esterna sia così piccola in confronto dell'interna, che possa senza notevole errore trascurarsi, come avviene, quando il circuito consiste in un filo buon conduttore corto e grosso (422). In tal caso l'equazione ora scritta passa ad essere $I=\frac{nE}{nR}$, ossia $I=\frac{E}{R}$, la quale c'indica che la corrente della pila di n elementi ha l'istessa intensità di quella d'un solo elemento, quando trascurabile sia la resistenza esterna.

Che se gli elementi sono posti in batteria, si deve riflettere, che essi vanno a formare come un solo elemento d'una superficie metallica n volte più grande di quella d'un solo elemento isolato, ond'è che la forza elettro-motrice, come si è veduto nel precedente paragrafo, rimane eguale a quella di un elemento solo, mentre la resistenza R,

essendo nella ragione inversa della sezione del circuito diventa $\frac{R}{n}$, e per ciò l'equazione di Ohm ci darà $I' = \frac{E}{\frac{R}{n} + r}$. Si supponga anche in questo caso essere r piccolissimo e trascurabile, ed avrassi $I' = \frac{nE}{R}$, cioè l'intensità della corrente crescerà col numero degli elementi. Se adunque il circuito esterno è tale da presentare piccola resistenza, gli elementi si debbono disporre in batteria.

Si riprendano adesso le due formole $I = \frac{nE}{nR + r}$, $I' = \frac{E}{\frac{R}{n} + r}$, e si faccia la supposizione contraria alla precedente; s'immagini cioe, che la resistenza esterna sia tanto grande da potersi trascurare al suo confronto la resistenza interna R. In questo caso la prima delle dette due formole verrà $I = \frac{nE}{r}$, e la seconda $I' = \frac{E}{r}$ le quali ci fanno conoscere, che al contrario del precedente caso l'intensità della corrente della pila in serie è n volte maggiore di quella data dalla pila disposta in batteria. Dunque se il circuito esterno presenta molta resistenza, come allorchè è formato di un filo sottile, lungo e di materia non molto deferente, si dovranno disporre gli elementi in serie. La disposizione in serie si dice ancora disposizione in *tensione*, e disposizione in *quantità* quella in cui gli elementi si congiungono in batteria.

Avvi però anche una terza disposizione, che dicesi *mista* e consiste nel formare cogli elementi varie serie, e riunire insieme i poli negativi, ed insieme i poli positivi di tutte le serie. In questo caso si ha come una sola pila con elementi di numero eguale a quello degli elementi d'una sola serie componente, ma di grandezza eguale a quella di un elemento d'una fila moltiplicata per il numero delle serie; per la qual cosa se s'indichi con n il numero degli elementi d'una pila componente, e con m il numero delle pile componenti, l'intensità della corrente data dalla pila totale verrà espressa da

$$I'' = \frac{nE}{\frac{n}{m}R + r} = \frac{E}{\frac{R}{m} + \frac{r}{n}}.$$

427. Rapporto tra la quantità d'elettrico somministrata da una pila, e l'intensità della corrente. — Povillet sperimentalmente ha dimostrato, che la quantità d'elettrico somministrata da una pila è proporzionale all'intensità della corrente, servendosi della *ruota d'interruzione* (fig. 230). Il contorno C d'una ruota di legno V è coperto di un cerchio di rame, il quale per la metà della larghezza è tutto continuo, mentre per l'altra metà è fatto a denti eguali e collocati a distanze eguali alla larghezza loro. Questi spazii fra un

dente e l'altro sono occupati da pezzi di legno, materia isolante. Due molle metalliche premono l'una *r* sul cerchio continuo, l'altra *r'* sulla parte dentata. Si stabilisca la comunicazione tra i poli di una pila ed un circuito, di cui facciano parte le due molle ed una bussola. La corrente passa quando *r'* sta in contatto col metallo, ma non già quando tocca il legno. Si tenga ferma la ruota, e la molla *r'* tocchi un dente metallico: la corrente passa e devia l'ago della bussola. Si noti l'intensità della corrente, e poi si faccia rapidamente girare la ruota: si avrà come la corrente fosse continua, ma si vede che la sua intensità è precisamente la metà di prima. Si rifletta ora, che quando gira la ruota, passa soltanto la metà dell'elettrico a cagione degli interstizii occupati dal legno, onde si dedurrà esser vera l'enunciata legge.

Se non che la quantità d'elettrico somministrata da una pila a forza costante non solo è proporzionale all'intensità della corrente, ma lo è ancora al tempo in cui questa dura a passare; ond'è che la detta quantità d'elettrico, che per un dato tempo esce dalla pila può esprimersi col prodotto dell'intensità della corrente per il tempo in cui ha durato il passaggio: il che è stato verificato da Povillet. Ha fatto egli passare una corrente per una data quantità d'acqua resa ora più ora meno conduttrice coll'aggiungervi più o meno acido solforico. Nei singoli casi calcolava il tempo richiesto per decomporre un grammo d'acqua, ed ha veduto che a produrre tale effetto ci abbisognava tanto maggior tempo quanto minore era l'intensità della corrente, in modo che fatto il prodotto dell'intensità per il tempo, questo prodotto veniva ad esser sempre eguale. Se ad ottenere un medesimo effetto si richiede sempre un'equivalente causa, diremo, richiedersi eguali quantità d'elettrico per decomporre eguali pesi d'acqua, e quindi si conchiuderà, esser vero, che il prodotto dell'intensità d'una corrente per il tempo che quest'ultima ha durato esprime la quantità d'elettrico escita durante quel tempo dalla pila.

428. Confronto tra la pila voltaica e la macchina elettrica. — Velocità della corrente. — La velocità della corrente elettrica è veramente sorprendente. Weheatstone nel 1834 misurò la velocità della momentanea corrente, o, come si suol dire, del *torrente elettrico*, che ha luogo nella scarica d'una bottiglia di Leyda. Prese egli due fili di rame A, B (fig. 231) della lunghezza di 400 metri ciascuno, e li dispose in modo, che i loro quattro estremi muniti di bottone si trovassero in una linea retta assai vicini fra loro, come vedesi in figura. Un arco eccitatore, mentre con un bulbo toccava l'armatura esterna d'una bottiglia carica D, presentava l'altro all'estremo C del secondo filo. Appressandosi il bottone della boccia di Leyda all'estremo *a* del filo A, il torrente passava per i detti fili facendo balenare tre scintille nelle interruzioni *a*, *b*, C, che guardate direttamente sembravano simultanee; ma non era lo stesso, se le tre scintille si fossero vedute per riflessione in uno specchio che posto dirimpetto all'apparato girava con massima velocità. Tale specchio era polimentato in ambedue le parti, ed in un secondo compiva 800 giri intorno ad una retta parallela alla linea, che congiungeva i punti *a*, *b*, C. Le scintille apparivano nello

specchio come tre nastri luminosi paralleli, ma quello di mezzo, se lo specchio girava dall'alto in basso, passando per il davanti, compariva sollevato, ed al contrario appariva depresso, se lo specchio girava in senso inverso, la qual cosa dimostrava che le scintille, le quali avevano luogo in *a*, C, erano contemporanee, mentre la scintilla di mezzo ritardava. Tale ritardo proveniva da che le due opposte elettricità, le quali simultaneamente partivano dalle armature della bottiglia, dando le scintille *a*, C, impiegavano un tempo a percorrere una il filo A, e l'altra il filo B, per riunirsi quindi in *b*; durante il qual tempo lo specchio si spostava. Calcolò Weheatstone di quanto lo specchio si era spostato dall'apparire delle scintille *a*, C e l'apparire di *b*, e la frazione di secondo impiegato in tale spostamento; e da tale calcolo dedusse che la velocità dell'elettrico in un filo di rame del diametro di $\frac{5}{3}$ di millimetro e di 460800 chilometri per secondo, assai maggiore cioè di quella della luce che ne percorre 310906 (741). Per formarsi un'idea di sì enorme velocità, basta il riflettere, che l'elettrico in un secondo percorrerebbe undici volte e più il meridiano terrestre. Variando però la grossezza e la qualità del filo conduttore, varia anche la velocità della corrente elettrica; quindi è che i fisici, ripetendo l'esperimento, non hanno sempre avuto il medesimo risultato. Nel 1850 Fizeau e Gonnelle, esperimentando sui fili telegrafici da Parigi ad Amiens ed a Rouen, giunsero ai risultati seguenti: In un filo di ferro di 4 millimetri e mezzo di diametro l'elettricità si propaga con una velocità di 101700 chilometri per secondo, sicchè in un tal tempo percorrerebbe due volte e mezzo il meridiano terrestre. In un filo di rame del diametro di due millimetri e mezzo la velocità dell'elettrico è di 177700 chilometri al secondo, onde percorrerebbe il meridiano terrestre 4 volte per secondo.

Essendo così grande la velocità della corrente elettrica, ed abbisognando un certo tempo per decomporre con essa un grammo d'acqua, è da conchiudersi, che per tale decomposizione si richiede una enorme quantità d'elettrico. Faraday ha calcolato che una pila per decomporre un grammo d'acqua deve somministrare tanta quantità di elettrico, quanta ne conterrebbe una bottiglia di Leyda, di cui ciascun'armatura avesse 22000000 metri quadrati di superficie, ossia fosse un quadrato di 4700 metri di lato, e carica allo stesso grado, che avrebbe una bottiglia elettrica ordinaria caricata con 30 giri di una energica macchina. Quantunque tanta sia l'elettricità della pila, pure piccolissima è la tensione di questa in confronto di quella della macchina elettrica. Invero la tensione ai poli della pila è proporzionale al numero degli elementi, e nondimeno Gassiot ha dovuto impiegare 4000 elementi di Grove posti in serie per avere tra i due poli prima del contatto una scintilla di un millimetro di lunghezza (373).

429. Correnti derivate. — Facciansi comunicare colle due vaschette *a*, *b* (fig. 232) piene di mercurio i due poli di una pila P a corrente costante, cioè con *a* il polo positivo, con *b* il negativo, ed in B si abbia la bussola dei seni facente parte del circuito. Si riuniscano *a*, *b* per mezzo del filo metallico *a c b*, la cui resistenza cal-

colata in lunghezza del filo del reostato (421) sia r, e si appelli con I l'intensità della corrente determinata colla bussola B e con R la resistenza interna della pila, dei fili della bussola e dei reofori Pa, Pb, resistenza pur calcolata in filo del reostato: si avrà $I = \frac{E}{R + r}$ (424). S'immergano di poi in a, b gli estremi di un altro filo adb di metallo, la cui resistenza in filo di reostato sia indicata con r'. L'elettricità giunta in a seguirà due cammini, cioè parte percorrerà acb, parte adb. Si vedrà allora crescere l'intensità della corrente, e l'ago magnetico devierà più di prima; perchè i due fili offrono alla corrente una via più ampia e per ciò di minore resistenza (422). Calcoliamo la nuova intensità della porzione Pb del circuito. Abbiamo detto, che la resistenza del filo adb è eguale a quella che è presentata da metri r' del filo del reostato, la cui sezione indichiamo con s. Suppongasi di voler sostituire a questo filo reostatico lungo metri r' un altro filo dello stesso metallo, ma lungo un solo metro. Facendo in tal modo il filo r' volte più corto, anche la sua resistenza diverrà r' volte più piccola, e per ciò se non si vuole cambiare la resistenza si dovrà fare r' volte più piccola la sua sezione. Diremo adunque che un filo dello stesso metallo di quello del reostato che abbia un metro di lunghezza, e che presenti una resistenza eguale a quella del filo adb deve avere una sezione $\frac{s}{r'}$. Nel medesimo modo si dimostra, che il filo acb può essere surrogato da un altro del medesimo metallo del filo reostatico, ma lungo un metro ed avente una sezione eguale a $\frac{s}{r}$. Dopo l'esposto ognuno comprende che ai due fili adb, acb si può sostituire un solo filo lungo un metro, e la cui sezione sia eguale ad $\frac{s}{r} + \frac{s}{r'}$. Se si chiami con r'' la lunghezza del filo del reostato, la cui sezione è s, che offre la resistenza di quest'unico filo, ossia di quella dei due fili, gli estremi dei quali sono immersi in a, b; per ridurre la lunghezza r'' ad un metro, dovremo ridurre la sua sezione ad $\frac{s}{r''}$; dovrà adunque essere

$$\frac{s}{r''} = \frac{s}{r'} + \frac{s}{r}, \quad \text{ossia} \quad \frac{1}{r''} = \frac{1}{r'} + \frac{1}{r},$$

da cui si ricava $r'r = rr'' + r'r''$; ed in fine $r'' = \frac{rr'}{r + r'}$. Pertanto la nuova intensità secondo la formola di Ohm verrà espressa da

$$I' = \frac{E}{R + r''}, \text{ ossia } I' = \frac{E}{R + \frac{rr'}{r + r'}}.$$

Si è accennato poca fa, che tutta l'elettricità che si propaga nel circuito bPa, giunta in a si divide in due parti, delle quali una

passa per il filo *acb*, e l'altra per il filo *adb*. Queste parti debbono stare fra di loro come le sezioni $\frac{s}{r}$, $\frac{s}{r'}$, poichè si ha come se i due fili fossero rimpiazzati da altri di materia eguale a quella del filo reostatico lunghi un metro, ed aventi quelle sezioni, nel qual caso le quantità d'elettrico prese dai due fili debbono senza dubbio essere proporzionali alle sezioni di essi fili. Adunque le quantità d'elettrico, che circolano per i due fili *acb*, *adb* staranno fra loro come $\frac{s}{r} : \frac{s}{r'}$, ossia come $r' : r$. Ma sappiamo (427) l'intensità delle correnti essere proporzionali alle quantità d'elettrico; quindi si conchiuderà, che le intensità delle correnti che passano per i fili *acb*, *adb* sono tra loro come $r' : r$, cioè nella ragione inversa delle resistenze di essi calcolate in lunghezza del filo del reostato.

I punti *a*, *b* si chiamano *punti di derivazione*, la loro distanza *ab* si dice *intervallo di derivazione*, la corrente che passa per *acb* *corrente parziale*, e *corrente derivata* quella che scorre per il *filo di derivazione adb*.

430. Applicazione fisiologica delle correnti derivate. Quando si fa agire una corrente sopra un muscolo o sopra un nervo, interessa spesso di variare a piacere l'intensità della corrente, rendendola ora maggiore ora minore. Questo scopo si raggiunge con somma facilità mediante il seguente apparato. Gli estremi del filo d'un reostato R (fig. 233) si attaccano in due punti B, B' dei due reofori della pila P, i quali reofori terminano in due aghi di platino *p*, che si mettono in comunicazione con il nervo o muscolo *n*, per il quale si vuol far passare la corrente. Giunta questa in B si divide, ed una parte passa per il filo B*p*, per il nervo *n*, per il filo *p*B', e quindi torna al polo negativo, mentre l'altra parte, invece di passare per il tratto B*pn*B' scorre per il filo del reostato. I nervi ed i tessuti animali presentano una grande resistenza alla corrente, e per ciò se il filo del reostato sia tutto involto nel cilindro metallico, presentando così una debole resistenza alla corrente, questa in massima parte passerà per il reostato, ed in minima parte per il nervo. Ma via via, che si avvolga il filo al cilindro di legno, cresce la resistenza presentata dal reostato, e quindi scema la parte di corrente che scorre per questo ed aumenta quella che attraversa il nervo. Potremo adunque a nostro piacere variare l'intensità di quest'ultima.

431. Ponte di Weheatstone. — Weheatstone si è servito delle correnti derivate per misurare le resistenze opposte alla corrente elettrica, confrontandole con quella del filo del reostato per mezzo della seguente ingegnosa disposizione di fili. Si mettano in comunicazione i due poli d'una pila mediante il filo metallico *abc* (fig. 234), e due punti *d*, *e* di questo s'uniscano per mezzo del filo *de*. In fine si congiunga il punto *b* del primo filo col punto *f* del secondo mediante un terzo filo *bf*, il quale ha in mezzo un galvanometro G. Giunta la corrente in *d*, si divide, andando una parte per *db* e l'altra per *df*. La prima pervenuta in *b* si suddivide, dirigendosene una quantità per *bf*, ed un'altra per *be*. Similmente la parte di corrente, che partendo da *d* era giunta in *f*,

qui si suddivide, ed una parte di essa prosegue per *fe* e l'altra va per *fb*. Si vede adunque, che per il *ponte bf* passano due correnti opposte, le quali, se sono eguali, fanno rimanere allo zero l'ago del galvanometro G. Perchè ciò succeda, insegna l'esperienza, essere necessario, che il rapporto, il quale passa tra le resistenze offerte dai due pezzi di filo *db*, *be* sia eguale al rapporto delle resistenze degli altri due pezzi di filo *df*, *fe*. Così ad esempio, se il filo *de* è in tutta la sua lunghezza omogeneo, e se il punto *f* gli cade precisamente nel mezzo, perchè l'ago stia allo zero è necessario essere la resistenza di *db* eguale a quella di *be*. Ammesso questo principio, che si può sempre verificare, ecco come si può procedere alla misura d'una resistenza. Si ponga invece del pezzo di filo *bd* il corpo, la cui resistenza si vuole studiare, ed invece del filo *be* si metta il reostato. Il filo *de* sia di platino fissato in una tavola in modo, che sotto di esso passi strisciando un trespolo metallico, il cui vertice coincide con *f*. Posto questo cavalletto alla metà di *ed*, si congiungano per mezzo di un galvanometro i punti *f*, *b*. Sul principio si vedrà deviare l'ago, ed allora si dovranno girare i cilindri del reostato, finchè l'ago non torna allo zero. Ciò ottenuto la resistenza del corpo sperimentato sarà eguale a quella del filo del reostato percorso dalla corrente. Questo ingegnoso processo è assai comodo, perchè riesce bene anche con una pila non costante, venendo le resistenze confrontate nel medesimo tempo.

432. Derivazioni multiple. — Allorchè si pongono le estremità di un filo conduttore cilindrico in comunicazione con i due poli di una pila, tutta l'elettricità da questa fornita passa per l'intera massa del filo in maniera che considerata una sezione trasversale del cilindro stesso, per ogni punto di questa passa una medesima quantità d'elettrico, e se immaginiamo ridursi la sezione del filo alla metà della primiera, senza però che cambi la resistenza, per ogni punto di essa passerà il doppio d'elettrico di quello che prima vi passava. Se in luogo d'un conduttore cilindrico si usi di uno sferico, ponendo gli estremi *a*, *b* (fig. 235) di un diametro qualunque di esso in contatto dei poli d' una pila; l' elettricità seguirà in gran parte la direzione del diametro, ma in pari tempo una parte di essa percorrerà una numerosa serie di linee curve, che terminano nei punti *a*, *b*. Immaginando di tagliare il detto conduttore con tanti piani secanti perpendicolari all'asse *ab*, si avranno tante sezioni circolari, le quali sono di raggio tanto minore quanto più si discostano da quella passante per il centro. Dovendo poi per ognuna di queste passare la medesima quantità di elettrico, ne viene, che per ogni unità di superficie transitar deve tanto più d' elettricità, quanto più la sezione, su cui quell'unità si prende, dista dal centro. Nè poi per ogni punto d'una medesima sezione passa una quantità eguale di elettricità; poichè tendendo questa ad andare per la via più corta, la maggior parte della corrente scorre, come dicemmo, per il diametro *ab*, e le altre parti, che vanno per le altre curve, sono tanto più deboli, quanto più la curva è lunga, ossia quanto più questa dista dall'asse *ab*. Si abbia in fine un conduttore qualunque, ad esempio rettangolare (fig. 236), ed in due punti A, B della sua superficie si applichino i poli d'una pila. L'elettricità

passerà da A in B non solo per la superficie, ma anche per l'interno del corpo, e traccerà nella prima e nel secondo un grandissimo numero di linee. La corrente nella più grande quantità trascorre le vie più buone conduttrici e le più corte; cosicchè se il corpo è omogeneo in tutta la sua massa, la linea retta congiungente i punti A, B sarà quella percorsa dalla corrente più intensa. Il numero delle correnti derivate sarà grandissimo; e siccome queste vanno tutte a terminare nei punti di contatto A, B, così in questi punti si avranno effetti più energici.

CAPO XIV.

INDUZIONE

433. Fenomeni d'induzione volta-elettrica. — Abbiamo noi veduto (307), che l'elettricità statica, accumulata cioè in un corpo, poteva per influenza attuare l'elettrico in un conduttore vicino. Si può ora domandare, se in egual modo anche l'elettricità posta in corrente in un conduttore possa eccitare un'altra corrente in un secondo conduttore mediante la sua influenza. La risposta è affermativa, ed è stato Faraday, che ha scoperto per il primo l'induzione *volta-elettrica*, ha fatto cioè conoscere, che la corrente promossa da una pila può far nascere *correnti indotte* in un filo conduttore. Si abbiano due fili metallici (fig. 237), uno dei quali comunichi coi suoi estremi con quelli del filo del galvanometro G, ed abbia un tratto CD rettilineo. L'altro filo AB sia pure rettilineo, e mentre in A sta in comunicazione col polo positivo della pila, coll'altro estremo B può immergersi e poi emergere dal recipiente R, che contiene mercurio, ed in cui pesca il reoforo, che va al polo negativo della medesima pila. Nell'immersione di B nel recipiente la corrente elettrica incomincia a passare per AB nella direzione indicata dalla freccia, e questa corrente cessa di passare allorchè B emerge dal mercurio . Si deve badare, che il galvanometro stia bastantemente distante, affinchè non abbia a risentire direttamente l'azione della corrente, la quale scorre per a AB. Posti a breve distanza e paralleli fra loro i due fili AB, CD, si faccia per il primo fluire la corrente, e tosto si vedrà avvenire uno spostamento nell'ago del galvanometro, il quale ci mostra, che nel momento, in cui si chiude il circuito, una corrente indotta passa per CD. Lo spostamento dell'ago poi è in tale direzione, che indica la corrente indotta andare da D in C, ossia in senso inverso della corrente

inducente. La detta corrente indotta è istantanea, poichè non appena l'ago ha deviato, tosto ritorna allo zero, nè più si muove, finchè la corrente segue a scorrere per AB. Ma se s'interrompe il circuito della pila, subito l'ago magnetico momentaneamente si sposta in senso contrario di prima, indicandoci succedere in CD un'altra corrente indotta istantanea, che va nel medesimo senso dell'inducente. Hanno luogo adunque queste due leggi: Una corrente, che incomincia, fa nascere in un circuito fisso vicino una corrente istantanea in direzione contraria: Una corrente che termina fa nascere in un circuito fisso vicino una corrente in direzione eguale alla sua. Le due correnti indotte medesime si verificano ancora, quando la corrente inducente prosegue sempre a correre per AB, aumentando però bruscamente, e poi diminuendo d'intensità. Inoltre facendo passare la corrente costantemente per AB, si dispongano le cose in modo che il filo AB si possa rapidamente avvicinare ed allontanare da CD, e si vedrà che quando i fili si avvicinano CD è percorso da una corrente istantanea procedente in direzione contraria all'induttrice, e che quando i fili si allontanano ha luogo un'altra corrente indotta istantanea avente l'istessa direzione dell'induttrice. Tutte le suddette leggi si sogliono comprendere in una sola così concepita. « Una corrente, che incomincia o che aumenta d'intensità, o che si avvicina, sviluppa in un circuito vicino una corrente indotta momentanea in tal direzione, che l'azione elettro-dinamica fra le due correnti sia ripulsiva: una corrente che finisce o che diminuisce d'intensità, o che si allontana, genera una corrente indotta istantanea, la cui direzione è tale che le due correnti tendano ad attrarsi ».

Per rendere più manifesti i descritti fenomeni, invece d'usare fili rettilinei, fa d'uopo adoprare fili metallici coperti di seta o d'altra materia coibente, ed avvolti intorno ad un cilindro, a fine di rendere l'induzione più intensa. Intorno ad un rocchetto di legno o cartone B (fig. 238) s'avvolge a moltissimi giri un filo metallico vestito di seta. Gli estremi di questo si mettono in comunicazione coi fili del galvanometro G. Si forma un altro simile rocchetto A di diametro più piccolo, onde possa essere introdotto nel primo. Questo secondo rocchetto con un estremo del filo comunica col polo negativo d'una pila, e coll'altro estremo di esso filo può pescare nel vaso *g* pieno di mercurio, con cui sta in comunicazione il polo positivo della pila stessa. Tenuto il rocchetto A dentro a B e stabilendo ed interrompendo il circuito della pila, si veggono verificate in B le prime due leggi. Col far passare costantemente la corrente per il filo di A, e coll'internar questo in B, e poi estrarlo si rendono manifeste le ultime due leggi.

434. Induzione magneto-elettrica. — Oltre all'induzione volta-elettrica Faraday scoprì anche la *magneto-elettrica*. Egli ha dimostrato queste due leggi: Una calamita che, si avvicini ad un circuito fisso, induce una corrente istantanea che va in senso inverso di quella la quale secondo la teoria d'Ampère (415) circola intorno alla calamita stessa: Una calamita che si allontana dal circuito, induce una corrente momentanea procedente nella direzione stessa di quella che si suppone nella calamita. Queste due

prime leggi si dimostrano col togliere il rocchetto interno del precedente apparato, e coll'usare in sua vece di una verga o cilindro magnetico A (fig. 239). Supponiamo che la corrente amperiana proceda nella parte anteriore della magnete come è indicato dalla freccia. Il galvanometro ci dirà, che nell'atto, in cui la calamita s'introduce nel rocchetto B, nell'elica di questo ha luogo un'istantanea corrente indicata pure dalla freccia, e che procede in senso contrario della corrente amperiana; c'indicherà pure il galvanometro che nel ritogliersi la magnete dal rocchetto ha luogo una seconda corrente indotta in direzione opposta a quella della prima. Ha fatto ancora conoscere Faraday, verificarsi queste altre due leggi: Una verga che si magnetizza fa nascere in un conduttore fisso una corrente istantanea in direzione contraria all'amperiana: una verga che si smagnetizza dà origine nel circuito ad una corrente istantanea avente la medesima direzione di quella supposta nella calamita. Ecco il modo di constatare queste altre due leggi. Nel rocchetto B s'introduce un fascio cilindrico di fili di ferro dolce, la cui altezza sia doppia di quella del rocchetto. Si appressi all'estremo esterno di questo fascio un polo d'una calamita: il fascio diverrà magnetico (358), nel punto toccato si formerà il polo contrario a quello con cui si fa il contatto, e nella parte introdotta nel rocchetto si formerà l'altro polo. Or bene, nell'atto in cui il fascio diviene magnetico, il galvanometro indica la presenza d'una corrente elettrica nel filo del rocchetto B, che ha la direzione poco fa indicata. Allontanando poi la magnete, il fascio si smagnetizza, ed il galvanometro dà segni d'un'altra corrente indotta in B, e procedente in direzione opposta alla prima.

435. Correnti indotte di vario ordine. — Quantunque le correnti indotte siano istantanee, pure possono generare in altri circuiti una seconda, una terza..... corrente indotta. Si prenda a tal uopo un filo di rame coperto di seta, e con esso si formi un'elica piana A (fig 240). Si costruiscano similmente altre eliche piane unite due per due, come BC, DE..... Sopra l'elica A si collochi a contatto B, sopra la C si ponga la D, sopra la E si metta la F..... Aprendo e chiudendo il circuito d'una pila cogli estremi del filo di A, la corrente *primaria*, che passa per quest'elica produrrà una corrente indotta nelle due eliche unite B, C: questa prima corrente indotta ne genererà un'altra nel sistema D, E, e così via via. Si chiami, come ora abbiamo fatto, corrente *primaria* o di *primo ordine* la corrente stessa inducente; sappiamo che essa nell'istante, in cui è interrotta, genera nel conduttore vicino la corrente indotta o di *secondo ordine*, la quale è diretta nel medesimo senso della primaria. Facendo agire la corrente di secondo ordine sopra un terzo circuito bastantemente lontano, perchè non abbia a provare l'influenza della primaria, si sviluppa in questo una nuova corrente indotta o di *terzo ordine*, ed in direzione opposta della precedente, e così via via. Fenomeni analoghi avvengono nel momento in cui si chiude il circuito voltaico, ma allora la corrente di secondo ordine è in direzione opposta a quella della primaria, e succedono gli alternativi cambiamenti di direzione nelle correnti degli ordini successivi. È bene di mettersi sott'occhio la seguente tavola, nella

quale la diversità dei segni + e — indica la diversità della direzione delle correnti di varii ordini.

	Nella interruzione del circuito	Nella chiusura del circuito
Corrente della pila o di 1° ordine	+	+
1ª corrente indotta o di 2° ordine	+	—
2ª corrente indotta o di 3° ordine	—	+
3ª corrente indotta o di 4° ordine	+	—
4ª corrente indotta o di 5° ordine	—	+

Ora si comprende la ragione, per cui un'elica chiusa in se stessa, ed interposta ai circuiti induttore ed indotto, scemi l'effetto d'induzione in quest'ultimo. Invero il circuito induttore eccita la corrente di 2° ordine non solo nel secondo circuito, ma anche nell'elica frapposta, e questa corrente indotta ha la medesima direzione nell'elica e nel secondo circuito. Ma la corrente indotta nell'elica eccita una corrente di 3° ordine nel secondo circuito, la quale, essendo di direzione contraria a quella di 2° ordine, la verrà ad indebolire.

436. Induzione d'una corrente sopra se stessa. — Un altro fenomeno d'induzione pure fatto conoscere da Faraday è, che una corrente elettrica, la quale percorra un circuito chiuso fatto a spire, induce una corrente sopra se stessa, alla quale corrente indotta dassi il nome di *estracorrente*, e questa nel momento stesso, in cui s'interrompe il circuito, va nel senso stesso dell'induttrice. Per dimostrar ciò si fanno comunicare gli estremi del filo di un lungo rocchetto B (fig. 241) con i due poli d'una pila P. In due punti A, C del filo conduttore si attaccano due fili metallici, che vanno ad annettersi ad un galvanometro G. Il filo conduttore è interrotto in M, e mentre l'estremo della parte superiore pesca sempre in un vaso pieno di mercurio, l'estremo dell'altra parte si può immergere nel mercurio o sollevarlo a piacere, chiudendo in tal modo od interrompendo a nostra volontà il circuito. Stabilita la comunicazione, la corrente giunta in A si biforca, parte passa per il rocchetto, e torna al polo negativo, parte attraversa il galvanometro, va in C, e quindi torna anch'essa al polo negativo. Questa seconda parte della corrente fa deviare l'ago magnetico, il quale si riporta forzatamente allo zero, e ci si tiene fermo mediante l'ostacolo O. Dopo ciò s'apre il circuito, e si vede l'ago istantaneamente deviare in senso opposto a quello di prima. Ciò dimostra, che interrotto il circuito della pila, e quindi cessando la corrente, la quale andava da A in C, si è indotta nel rocchetto un'estracorrente, che ha una medesima direzione della prima, e che discendendo in C, in parte si porta da C in A, e fa spostare l'ago in senso opposto di prima. Si usa dell'ora descritto apparato in medicina per produrre le contrazioni muscolari. In tal caso si toglie il galvanometro, e s'introduce nel rocchetto un cilindro di ferro dolce, che va a formare un'elettro-calamita, ed il circuito alternativamente si apre e chiude per mezzo d'una ruota d'interruzione (427). L'individuo che vuole ricevere le scosse, impugna due maniglie metalliche attaccate nei punti A, C. Si dirà in appresso qual sia

l'officio dell'elettro-calamita (439). L'estracorrente si mostra assai sensibile nell'atto dell'apertura e non in quello della chiusura del circuito, perchè passando la corrente nel rocchetto B, la parte che scorre in una voluta dell'elica induce un'altra corrente nelle volute vicine. Ma la corrente indotta nella chiusura del circuito, essendo in direzione opposta a quella della primaria, la indebolisce, mentre al contrario la corrente indotta, che ha luogo nell'atto dell'apertura, andando nel medesimo senso della primaria, le dà più energia, e perseverando per un breve istante, produce il fenomeno, che si è descritto. Per usufruire dell'estracorrente, i reofori con cui si stabiliscono i circuiti elettrici si fanno di filo metallico vestito di seta, e piegato a saltaleone: se questi rendono minore l'effetto nella chiusura del circuito, lo aumentano di molto nell'apertura. Quando si usino tali reofori, si ha un'altra ragione di avere la scintilla da una pila nell'interrompersi del circuito, la quale mancherà sempre nella chiusura di esso.

437. Azione induttrice della terra. — Anche la terra può produrre correnti indotte in un circuito chiuso. Si possono queste ottenere col rivestire una canna di ferro con un'elica formata di filo metallico coperto di seta. Nel mezzo della sua lunghezza ha la canna un perno intorno al quale può essa girare in un piano verticale. Posta la canna nella posizione d'un ago magnetico, cosicchè presenti tanto la declinazione, quanto l'inclinazione (356,357), e fattala rapidamente girare, ogni qual volta questa lascia e riprende la detta posizione, nell'elica ha luogo una corrente indotta, cosicchè si hanno quattro correnti in ogni giro.

CAPO XV.

APPARATI D'INDUZIONE

438. Uso delle correnti indotte. — Le correnti indotte sono assai usate in fisiologia ed in medicina per eccitare i nervi ed i muscoli. Quando si voglia ottenere un eccitamento continuo si ricorre ad apparati, che diano correnti indotte succedentisi le une alle altre ad intervalli di tempo oltremodo brevi. Appellasi *faradizzazione* questo modo di eccitare i nervi ed i muscoli. Spesso oltre

alle correnti indotte si mettono a profitto le estracorrenti, che hanno luogo nel filo induttore nell'aprirsi del circuito. Gli apparati poi, che forniscono le dette correnti sono di due specie, secondo che inducono le correnti o con una pila, o con una magnete. I primi si chiamano apparati *volta-faradici* od *elettro-magnetici*, i secondi apparati *magneto-faradici*, o *magneto-elettrici*.

439. Parti fondamentali degli apparati volta-faradici. — Gli apparati volta-faradici consistono essenzialmente in due circuiti separati, ripiegati a spira su due rocchetti BB, B'B' (fig. 242), o su d'un medesimo rocchetto. Gli estremi del filo, che forma l'elica interna, terminano in due bottoni P, N, e questi estremi si pongono in comunicazione con i poli d'una pila A. Anche gli estremi della seconda elica terminano in due globi P', N', che si prendono in mano dalla persona, la quale vuol essere faradizzata. Per il filo della prima elica passa la corrente induttrice, per quello della seconda l'indotta. Se si stabilisse una comunicazione tra P ed N con un corpo conduttore, per questo nell'atto dell'interruzione del circuito, passerebbe l'estracorrente (436). Ad ogni chiusura di circuito la corrente della pila passa per il filo interno, ed una corrente indotta ha luogo nell'elica esterna, ed un'altra pure percorrerà il medesimo filo esterno nell'interruzione della corrente voltaica. Queste correnti indotte vengono ad essere rinforzate dalla presenza di una verga di ferro dolce C, che occupa la parte centrale del rocchetto induttore; dappoichè questa verga magnetizzandosi quando passa la corrente, e smagnetizzandosi nel momento dell'apertura del circuito (407), eccita nell'elica esterna correnti indotte (434) che si sommano con quelle prodotte ivi direttamente dalla corrente voltaica. È per questo che tali apparati si dicono *elettro-magnetici*.

440. Interruttori di Neef e di Foucault. — Risulta dal detto, che per avere correnti indotte capaci di produrre un'eccitazione continua nei nervi e muscoli, è necessario, che la corrente primaria ad intervalli brevissimi di tempo sia interrotta e ristabilita alternativamente. Ciò si suole ottenere col *tremolante di Neef*, o col *tremolante di Foucault*, il primo dei quali è così formato. In un punto *n'* del filo P (fig. 242), in cui termina l'elica interna, trovasi congiunta una verga elastica di metallo *n'*E, la quale porta in E un pezzo di ferro dolce. Il reoforo positivo *m* della pila termina in una punta, la quale tocca la suddetta molla; nel qual caso il circuito è chiuso, e la corrente percorre l'elica interna, facendo magnetizzare la verga di ferro dolce C. Questa allora attrae il pezzo di ferro o *martello* E, il quale si distacca dalla punta; onde rimane interrotto il circuito, si smagnetizza C, ed il martello per l'elasticità della molla è riportato alla primiera posizione; per il che torna a chiudersi il circuito. La cosa succede con tanta rapidità, che il martello trovasi in un continuo tremolìo, e le correnti indotte si succedono ad intervalli di tempo oltre ogni modo brevissimi. Da questo poco differisce il tremolante di Foucault. Una lamina sottile d'ottone R (fig. 243) verticale, essendo tenuta ferma nella sua parte inferiore, porta fissa nell'estremo superiore una verga orizzontale metallica *ad*. In *a* questa porta saldata

una piccola massa di ferro dolce, che è il *martello*, e che sta al disopra dell'estremo sporgente del cilindro di ferro dolce, il quale s'interna nel rocchetto induttore. In *d* è fissata alla verga orizzontale un'altra sottile asta verticale di ferro, la quale va ad immergersi coll'estremo inferiore in un vaso *m* contenente mercurio. Si dispongono le cose in tal maniera, che quando la lastra R sta verticale, la punta estrema dell'asticella portata da *d* venga a toccare la superficie di livello del mercurio, il che s'ottiene coll'innalzare od abbassare il vaso *m*, il cui fondo è metallico, ed è sostenuto da una vite. Al disopra del mercurio si versa dell'alcool, che è cattivo conduttore dell'elettricità. Una delle estremità dell'elica induttrice termina nella vite di pressione P, con cui comunica il polo positivo della pila. La corrente percorre tutta la detta elica e per mezzo d'una lamina di rame è portata alla base di R, ascende per questa, discende per *d*, va al mercurio, al fondo del vaso, quindi si reca in P', e da qui torna al polo negativo della pila. Passando così la corrente, si magnetizza la verga di ferro dolce, ed attira a sè il martello *a*; onde sollevandosi *d*, la punta emerge dal mercurio, e la corrente è interrotta. Allora si smagnetizza la verga di ferro, ed il martello *a* per l'elasticità della lamina R s'innalza, la punta *d* si abbassa, immergendosi di nuovo nel mercurio; ed ecco di nuovo chiuso il circuito.

441. Disposizione per raccogliere le correnti indotte e l'estracorrente. — Negli apparati volta-faradici si possono insieme raccogliere la corrente indotta e l'estracorrente, che hanno luogo nel momento dell'apertura del circuito induttore. Basta a tale scopo (fig. 244) congiungere con un filo metallico un punto estremo P' del filo dell'elica esterna coll'estremo N del filo dell'altra elica, cosicchè le due eliche vadano a formare un solo circuito, il quale nell'atto in cui cessa la corrente inducente sarà percorso dall'estracorrente e dalla corrente indotta, che procedono nella medesima direzione, come mostrano le frecce. Quantunque coll'allungarsi in tal modo il circuito cresca assai la resistenza presentata da esso alla corrente (fig. 422); pure insegna l'esperienza, che la sopraddetta disposizione aumenta molto gli effetti fisiologici della corrente risultante.

Sui principii fin qui esposti è basata la costruzione degli apparati volta-faradici, dei quali descriveremo i principali.

442. Grande rocchetto di Ruhmkorff. — Ruhmkorff ha costrutto il più potente apparato d'induzione volta-elettrica. Un fascio di fili di ferro dolce, isolati per uno strato d'ossido che li circonda, forma un cilindro che termina ai due estremi con due armature di ferro M, M' (fig. 245). Intorno a questo cilindro, che è pure coperto di uno strato di vernice coibente, è avvolto ad elica un grosso filo di rame isolato i cui estremi *a*, *b* si possono mettere in comunicazione con i due poli d'una pila per mezzo del tremolante di Foucault (440). Il rocchetto così formato è introdotto in un tubo di cristallo, il quale lo separa da un altro rocchetto formato con un filo di rame sottile e di una lunghezza di più di 10 chilometri. Il detto filo è isolato con gran cura, ed ogni strato di quest'elica, per ottenere più perfetto l'isolamento, è separato dall'altro con

uno strato di gommalacca. Gli estremi della seconda elica sono portati da due colonne di vetro C, D. Gli effetti di questo apparato sono di somma potenza, essendo esso valevole a produrre fra i due reofori A, B scintille di 40 e 50 centimetri di lunghezza. La tensione agli estremi suddetti è così grande, che le due opposte elettricità condotte da verghe metalliche ben isolate possono forare una lamina di vetro avente qualche centimetro d'ertezza. Si osservi, che con questo apparato si ha una trasformazione dell'elettricità della pila, la quale ha pochissima tensione (373), in elettricità di tensione, onde con esso si possono produrre con vantaggio tutti i fenomeni della macchina elettrica e della bottiglia di Leyda. Se si toccassero le estremità del filo indotto, si proverebbero scosse violentissime e pericolose.

443. Apparato a carro di Du-Bois-Reymond. — Du-Bois-Reymond ha fatto costruire un apparato volta-faradico, che è utilissimo negli studi di fisiologia e negli usi medici. Il rocchetto indotto M (fig. 246) è fissato sopra un piccolo carro di legno che può correre su di una ruota in modo da poter essere avvicinato od allontanato dal rocchetto B a filo grosso e corto, che contiene nella sua parte centrale un cilindro di ferro dolce, e che è l'induttore. L'interruzione della corrente si fa per mezzo del tremolante di Neef (440) collocato in *t*. Per regolare la intensità delle scosse e degli altri fenomeni fisiologici basta avvicinare più o meno il rocchetto indotto all'induttore, e ad ottenere più comodamente questo movimento e così graduare con maggior precisione l'intensità degli effetti, Bert ha fatto aggiungere all'apparato una *crimalliera:* per mezzo di questa e di un bottone munito di un rocchetto dentato unito al carro si può fare avanzare l'elica indotta. Se tutto il rocchetto induttore s'introduce nell'altro, l'apparato dà scosse insopportabili.

444. Apparato portatile di Ruhmkorff. — Per usi medici si adoprano apparecchi volta-faradici di piccole dimensioni e per ciò portatili. Uno di questi è stato costrutto da Ruhmkorff, e consiste in una piccola scatola, entro cui sono due elementi a solfato di Mariè-Davy senza diaframma (398), e due cilindri d'induzione, formato ciascuno di duplice elica, che funzionano di concerto, e che possono coprirsi più o meno con due cilindri cavi di rame. La corrente inducente ecciterà una corrente indotta o di secondo ordine non solo nel filo dell'elica esterna, ma ancora nel detto involucro metallico, e questa corrente di secondo ordine eccitata nell'involucro ne farà nascere un'altra di terzo ordine nel filo indotto, la quale essendo in direzione opposta a quella di secondo, verrà ad indebolirla (435) tanto più quanto più è estesa la parte dell'involucro, che ricopre il rocchetto. Pertanto col coprire più o meno i rocchetti coi cilindri cavi di rame si regola la forza della corrente indotta.

445. Apparato volta-faradico di Gaiffe. — Gaiffe ha inventato un altro apparecchio anche più piccolo del precedente, e moltissimo usato dai medici. Entro ad una cassetta, in cui trovasi tutto l'apparato, avvene da una parte un'altra rettangolare di gutta-perca che costituisce la pila. La detta cassetta rettangolare è divisa in due riparti con un tramezzo trasversale. Nel fondo di ciascuno di

questi vi è una lamina di carbone, che forma il polo positivo dell'elemento al quale fa da coperchio una lamina di zinco amalgamato, e ne costituisce il polo negativo: l'acqua, a cui si unisce un poco di bisolfato di mercurio è il liquido ossidante. La descritta pila comunica con il filo induttore di un rocchetto munito dell'interruttore di Neef, ed un tubo metallico graduato invece di coprire l'elica esterna copre la verga di ferro dolce che trovasi nell'interno del rocchetto. Parallelamente a quest'ultimo vi è una traversa alquanto rilevata, e che porta sei fori nei quali si pongono gli estremi dei reofori. Messi questi nei fori notati con 1 si riceve la corrente induttrice; se si pongono nei fori notati con 2 si raccolgono le correnti indotte; collocati finalmente negli altri due fori, si raccolgono insieme e le correnti indotte e le estracorrenti (*).

445. Apparato volta-faradico di Trouvé. — Il più piccolo ed in pari tempo il più elegante tra tutti gli apparati induttori portatili è quello inventato da Trouvé. A (fig. 247) è la pila, la quale è rappresentata separatamente dalla fig. 248, e consiste in un astuccio di caucciù indurito, chiuso esattamente da un coperchio a vite. Al coperchio è fissato internamente un piccolo cilindro di zinco *z*, che non giunge alla metà della lunghezza dell'astuccio, e che comunica con un bottone metallico esterno. Le pareti interne della metà superiore dell'astuccio sono vestite d'uno strato di car-

(*) L'apparato di Gaiffe trovasi in mano di tutti i medici: quindi sarà utile dire qualche cosa sul suo uso pratico. Nella cassetta, in cui l'apparecchio è contenuto, trovansi un piccolo recipiente di cristallo pieno di bisolfato di mercurio ed un cucchiarino di osso. In ciascuna delle due capsule di gutta-perca, di cui è formata la pila, si versa acqua, che deve coprire le lamine di zinco, alla quale si uniscono una o due cucchiaiate di bisolfato per elemento, secondo che debole o forte si vuole che sia la corrente induttrice. Dopo pochi istanti un ronzio prodotto dal tremolante ci avverte, che l'apparato è in attività. Se ciò non avviene, bisogna rintracciare la cagione per cui la corrente non si eccita. Ciò può provenire da più cause. 1° Può essere che la pila non sia al suo posto, ed allora vi ci si porrà, badando che i due poli di questa, costituiti da due punte d'argento sporgenti dagli estremi della cassetta di gutta-perca, stiano a perfetto contatto colle due lamine che sorgono dal fondo dell'apparato, e colle quali comunicano gli estremi del filo formante l'elica interna. 2° Può essere che il martello del tremolante stia a contatto dell'elettro-calamita, o che le stia troppo distante, nel qual caso bisogna girare o in un senso o nell'altro un bottone annesso alla punta, che tocca e spinge la molla del tremolante. Qui si avverta, che dalla distanza del martello dalla verga di ferro dolce dipende la frequenza delle scosse, la quale frequenza è tanto maggiore, quanto minore è la detta distanza: il ronzìo acuto indica che le scosse sono frequenti, mentre un ronzìo grave è segno di minor celerità delle medesime. 3° Può la corrente o induttrice o indotta essere impedita da ossido che siasi formato in qualche contatto metallico, il quale ossido va rimosso col limare leggermente le punte d'argento, che stabiliscono le comunicazioni tra gli elementi della pila, le due lamine che abbracciano questa, la punta che tocca la molla del tremolante, i buchi in cui s'internano i reofori, e gli estremi di questi. 4° Può essere infine, che siasi spostato qualche filo, che serve a stabilire nell'interno la comunicazione elettrica tra le varie parti dell'apparato; nel qual caso si deve rimuovere la tavola, che forma il fondo esterno della cassetta, il che fatto si rendono visibili i fili, e ci sarà facile conoscere quale debba essere la posizione normale di ciascuno, nella quale va rimesso fissandolo con ceralacca. Usato l'apparecchio, si deve con somma cura lavare ed asciugare la pila, e nettare tutti i pezzi.

bone coke, il quale comunica con un altro bottone metallico sporgente all'esterno lateralmente. S' introducano nell'astuccio circa tre grammi di bisolfato di mercurio, e dell'acqua fino alla metà dell'altezza del medesimo. Essendo l'astuccio posto dritto, lo zinco si trova fuori dell'acqua, e per ciò la pila non agisce; ma per metterla in attività basta di porla coll'asse orizzontale, poichè allora il liquido bagna lo zinco ed il carbone. Il rocchetto B (fig. 247) è coperto di un grosso filo metallico vestito di seta ed avvolto ad elica a sei strati, e da un altro filo sottile, pur vestito di seta, formante un'elica a diciotto strati. Una sottile foglia di ferro dolce piegata ad elica occupa l'asse del rocchetto, e per questa forma presenta una ben larga superficie magnetica. Un tubo di rame, che serve da graduatore, può coprire più o meno la detta lamina, venendo spinto in dentro, o tirato fuori per mezzo del bottone *o*. Gli estremi del grosso filo terminano nei bottoni M, M', e due fili metallici, con un estremo congiunti ad M, M', e coll'altro alle pinzette P', P, le quali colle loro branche stringono i bottoni formanti i poli della pila, fanno passare la corrente nell'elica induttrice. L'estremo del rocchetto opposto a quello, che ha i bottoni M, M', ne porta altri quattro I, I', L, L' disposti in croce. Uno dei due reofori è attaccato invariabilmente al bottone L', il quale è il polo negativo: attaccando l'altro reoforo successivamente ai bottoni I', L, I si raccoglieranno o le estracorrenti, o le correnti indotte, od insieme le une e le altre. Il tremolante occupa la base M M' del rocchetto, ed ha una leva mobile, colla quale si avvicina o si allontana il martello dall' elettro-calamita, e con ciò si ottiene che le interruzioni siano più o meno frequenti. Se si vogliono interruzioni assai più lente ed a volontà dell'operatore, si toglie via la pinzetta P e si chiude a piacere il circuito della pila ponendo a contatto il polo libero con un piccolo bottone di rame, che trovasi nel rocchetto tra M ed M'. Non ostante la piccolezza delle dimensioni, quest'apparato produce scosse appena tollerabili, ed è tanto energico da poterci decomporre l'acqua.

447. Apparato magneto-faradico di Newmann. — Negli apparati magneto-faradici invece della corrente induttrice si usa di una calamita. Il primo apparecchio di tal genere fu costruito da Bixio, e questo fu perfezionato da Newmann, che gli ha dato la forma seguente. Sia E (fig. 249) un magazzino magnetico di sei o sette sbarre a ferro di cavallo potentemente calamitate. CD ed AB rappresentino due grossi cilindri di ferro dolce, che essendo congiunti all'asse F'Q mediante la verga di ferro dolce DB, possono insieme all'asse farsi girare velocemente per mezzo del volante F. Ciascuno dei due cilindri è coperto da un'elica formata di duecento metri di filo di rame vestito di seta: sono poi le due eliche di natura diversa, cioè una *dextrorsum* e l'altra *sinistrorsum* (406). Gli estremi anteriori delle due eliche s'introducono nell'asse F'Q, che è vuoto, e vanno a terminare in un piccolo cerchio metallico munito di due punte *m*, *n*, mentre gli altri due estremi delle eliche comunicano colla ruota metallica O annessa all' asse. Al disotto della ruota O e delle punte *m*, *n* vi sono due capsule *h*, *i* piene di mercurio, nella prima delle quali pesca costantemente mezza

ruota, e nella seconda s'immergono alternativamente le due punte *m*, *n*. Stabilita fra le due capsule con un filo metallico una comunicazione, e fatta girare la ruota F con i pezzi annessi, si osserva che ogni qualvolta una delle punte *m*, *n* s'immerge nel mercurio, o da questo emerge, ha luogo una scintilla. Tolta la detta comunicazione fra le due capsule, e fatto il saggio dell'elettricità di cui sono cariche, si vede, che durante una semirivoluzione dei due cilindri intorno all'asse, una delle due capsule è carica positivamente e negativamente l'altra; ma nel secondo mezzo giro si trovano cambiati gli stati elettrici delle capsule, addivenendo la prima carica in meno, ed in più la seconda; il qual scambio seguita sempre a verificarsi ad ogni semirivoluzione dei cilindri.

Spieghiamo il fenomeno. Primieramente diciamo, che l'elettricità, la quale si porta alle capsule *h*, *i* è dovuta a correnti indotte nelle due eliche, poichè i cilindri di ferro dolce, che esse avvolgono, si magnetizzano e smagnetizzano nel presentarsi ai poli S, ed N della calamita E, e nel partire da essi. Sia M (fig.250) la calamita e le frecce tracciate su di essa esprimano l'andamento delle correnti elettriche, che secondo Ampère producono il suo potere magnetico. È chiaro che nei due poli A, B, le correnti procedono in senso opposto. Avanti al polo A sia collocato *(a)* il cilindro CD, la cui elica è *dextrorsum* ed avanti al polo B trovisi il cilindro EF, la cui elica è *sinistrorsum* Finchè i due cilindri stanno fermi, nessuna corrente si eccita nelle loro eliche. I cilindri di ferro dolce fin tanto che si trovano avanti ai poli della calamita sono magnetizzati, ed in E ed F si formano poli di nome contrario ad A, B. Le correnti elettriche adunque in questi due cilindri andrebbero, secondo Ampère, nel medesimo senso che hanno nella magnete M, cioè nel nostro caso sarebbero ascendenti al di fuori, vale a dire nei lati DC, EF, e discendenti al di dentro, cioè nei lati a quelli opposti. Allorchè messo in movimento l'apparato i due cilindri partono dalla presenza dei poli A, B, cessando essi di essere magnetici, si ecciteranno nell'eliche correnti indotte procedenti nella direzione delle correnti amperiane (434), cioè nel senso indicato dalle frecce. Adunque l'elettricità naturale dell'eliche sarà posta in movimento e scorrerà nelle volute, andando da D verso C, e da E verso F, e perciò la ruota O si dovrà trovare elettrizzata in meno, e le punte *n*, *m* in più. Si presenterà dipoi il cilindro CD al polo B, ed EF al polo A, ed in questo momento i cilindri si magnetizzeranno, e così indurranno nell'eliche correnti in senso inverso di quello delle induttrici; ma trovandosi ora (*b*) in faccia ad A l'elica *sinistrorsum*, ed avanti a B la *dextrorsum;* le correnti indotte andranno nella direzione notata dalle frecce, ossia da E verso F, e da D verso C. Pertanto è manifesto, che queste seconde correnti indotte andranno nella direzione stessa delle prime; ond'è che nel primo mezzo giro dei cilindri deve essere carica la capsula *i* (fig. 249) di elettricità positiva, e la *h* di negativa. I due cilindri esciranno in appresso dalla presenza dei poli, ed allora si ecciteranno nelle eliche correnti di direzione opposta a quella delle precedenti, ossia nel senso stesso di quella dei poli; per il che esse correnti dovranno portarsi (fig. 250 (*b*)) da C in D, e da F in E, e

conseguentemente la ruota O rimarrà elettrizzata positivamente, e negativamente le punte *m*, *n*. Finalmente i cilindri torneranno a porsi nella primiera situazione (*a*), ed in questo istante dovendo aver luogo nelle eliche correnti indotte in senso opposto alle induttrici, esse procederanno da C in D, da F in E; quindi sarà O in istato elettrico positivo, *m*, *n* in istato negativo. Adunque nel secondo mezzo giro sarà *h* (fig. 249) carica positivamente ed *i* negativamente. Se pertanto si stabilisca una comunicazione fra le due vaschette, durante un mezzo giro la corrente passerà da *i* ad *h*, e durante l'altro mezzo giro da *h* ad *i*. Se un individuo terrà colle mani bagnate di acqua acidulata o salata due verghe metalliche immerse nelle due capsule, proverà continue scosse. Volendosi che le correnti procedano sempre in una medesima direzione, come è necessario, ad esempio, quando si abbia a produrre l'analisi dell'acqua, fa d'uopo togliere mezza ruota O, ed una delle punte *m*, *n*, e precisamente quella situata dalla parte della mezza ruota, che si porta via; cosicchè non peschino nel mercurio gli estremi dei fili delle eliche, se non quando le correnti vanno in un senso, e sia tolta ogni comunicazione durante quel mezzo giro, in cui le correnti indotte vanno in senso opposto a quello delle prime.

448. Apparato magneto-faradico di Clarke. — L'apparato di Clarke è un perfezionamento del precedente. In esso il magazzino magnetico è verticale, ed avanti ai poli di questo si muovono due rocchetti di legno B,B' (fig. 251) i cui assi di ferro dolce sono fissati ad una verga trasversale V pure di ferro dolce. Sopra ciascun rocchetto è avvolto un filo di rame vestito di seta, che fa un grandissimo numero di giri. Le due eliche sono una *dextrorsum*, l'altra *sinistrorsum*, e si possono riunire od in serie od in batteria. Quando sono unite in batteria gli estremi posteriori dei due fili si fanno comunicare coll'asse metallico del cilindro I, il quale è coperto di un tubo d'avorio, su cui avvi un anello di ottone *q*: in quest'anello terminano gli estremi anteriori dei due fili, che formano l'eliche. Che se queste si vogliano disporre in serie, e siano, come abbiamo detto, di diversa specie; allora l'estremo posteriore di una di esse si fa comunicare coll'asse, l'estremo anteriore della medesima si congiunge coll'estremo posteriore dell'altra, e l'estremo anteriore di quest'ultima si fa comunicare coll'anello *q*. Le facce posteriori dei due rocchetti sono riunite da una sbarra di rame, che porta un asse, il quale è un prolungamento del cilindro I. Tale asse passa tra le branche della calamita, e termina in una ruota, che essendo congiunta per mezzo d'una catena senza fine ad un volante, trasmette il moto di questo al cilindro I ed agli annessi rocchetti. L'anello *q* e l'asse del cilindro formano come i due poli del circuito percorso dalle correnti indotte, e quindi ad ogni mezza rivoluzione dei rocchetti cambiano fra loro lo stato elettrico. Per dirigere le correnti indotte sempre in un medesimo senso, il cilindro I è munito d'un *commutatore*, il quale consiste in due mezzi anelli metallici *o*, *o'* di cui il primo per mezzo d'una vite metallica che attraversa il tubo d'avorio, sta in comunicazione coll'asse del cilindro I e l'altro per mezzo della lamina metallica *x* comunica coll'anello *q*. I due

semianelli adunque sono i poli, che alternativamente si mostrano uno positivo e l'altro negativo, e viceversa. Sotto al cilindro I vi è uno zoccolo M di legno, che porta a sè congiunte lateralmente due lamine d'ottone *m*, *n*, dalle quali sorgono due molle *b*, *c* che mettono in comunicazione ciascuna delle dette lamine con uno dei semianelli. Rotando il cilindro I ciascuna delle molle tocca successivamente i due mezzi anelli *o*, *o'*, e sono così disposte le cose, che *o*, *o'* cambiano di stato elettrico nell'atto che, abbandonata una molla, vanno a porsi in contatto coll'altra, in modo che tanto *o* quanto *o'* sono elettrizzati in più, quando comunicano colla molla *b*, e sono elettrizzati in meno, allorchè toccano la molla *c*: dal che viene, che la lastra *m* è sempre il polo positivo, e la lastra *n* il negativo. Stabilita una comunicazione tra le lastre *m*, *n* con un conduttore qualunque *p*, il circuito rimane chiuso, e per esso avrà luogo una corrente diretta sempre in un medesimo senso, e che per la celerità, con cui le correnti derivate si succedono, sembrerà continua, ma d'intensità presentante variazioni periodiche. La disposizione di cose ora accennata non è sufficiente a produrre scosse energiche. Ad ottener queste si deve aggiungere al commutatore il *disgiuntore*, il cui officio è il determinare delle interruzioni nella corrente del rocchetto, dando per tal modo origine ad estracorrenti. Nel cilindro I verso il suo estremo anteriore sono annesse due altre lamine di ottone *i*, una sola delle quali è visibile in figura, collocate una di fronte all'altra agli estremi d'un medesimo diametro. Ciascuna di queste due lamine è isolata relativamente all'altra, ma comunica per mezzo d'un'appendice metallica col semianello, che sta nella parte opposta. Una terza molla *a* poggia colla sua testa nella circonferenza del cilindro, in cui sono collocate le lamine *i*. Ogniqualvolta la molla *a* tocca una di queste, essa comunica con il mezzo anello, che sta in contatto colla molla *b*, e per conseguenza il circuito è chiuso per mezzo della placca *n*, e la corrente circola nell'interno dell'apparato. Ma subito che la molla *a* cessa dal contatto d'una delle due piastrine *i*, il circuito è interrotto, e le correnti indotte accompagnate da una estracorrente di rottura percorrono un circuito di derivazione (429) costituito dai reofori e dall'individuo, che vuol essere faradizzato. L'estracorrente così ottenuta produce effetti fisiologici assai più energici di quelli prodotti dalle semplici correnti indotte. Quando la resistenza del circuito esterno è ben grande, come nelle esperienze fisiologiche e terapeutiche, bisogna aumentare quella interna (426). È per questo che gli apparati di Clarke sono forniti di due coppie di cilindri induttori, delle quali l'una può sostituirsi all'altra. Per gli effetti fisiologici e chimici le due eliche sono disposte in serie e sono formate di sottile filo lungo da 500 a 600 metri per elica. L'altra coppia serve per gli effetti fisici, quali sono i calorifici e luminosi, e le eliche di questa sono disposte in batteria, e vengono formate d'un filo grosso lungo solamente 25 o 30 metri per ciascuno. Non è facile giudicare dall'andamento del filo nei rocchetti qual sia il polo positivo dell'apparato: per determinar ciò facilmente giova immergere i due reofori in una quantità d'amido iodurato. Fatto agire l'apparato, le parti più vicine al polo positivo si vengono a colorare in azzurro, il

qual colore è dovuto all'azione del jodio messo in libertà dall'amido. Questo metodo serve egualmente per gli altri apparati (*).

449. Apparato di Breton. — Se si fanno rotare gli induttori dell'apparecchio di Clarke senza di avere rimossa l'ancora, che trovasi avanti ai poli del magazzino magnetico, le correnti indotte sarebbero oltremodo deboli, si avrebbe cioè, come se la calamita avesse perduto quasi totalmente il magnetismo. Appressandosi ed allontanandosi l'ancora, si ottiene pertanto di diminuire o di aumentare l'azione della magnete. Se adunque le branche d'una calamita siano introdotte in due rocchetti a lungo filo; col presentare o togliere l'ancora dai poli si otterranno due correnti indotte nei rocchetti nell'istesso modo, che queste si hanno quando i rocchetti si allontanano o si avvicinano ai poli; si verificano cioè queste due leggi: 1ª Una calamita che s'indebolisce determina una corrente indotta, che ha la medesima direzione della supposta corrente magnetica: 2ª Una calamita, la cui intensità si aumenta, genera una corrente indotta, di direzione contraria alla corrente amperiana. Su questo principio dovuto a Page i fratelli Breton hanno basata la costruzione del seguente apparecchio.

Le branche d'una magnete A (fig. 252) a ferro di cavallo sono internate in due rocchetti B, B' su ciascuno dei quali si avvolgono ad elica due fili, uno grosso e corto, l'altro, sovrapposto al primo, fino ed assai lungo. Si hanno così due circuiti, nei quali la calamita sviluppa correnti indotte, che producono effetti assai diversi, come le due coppie dei rocchetti del precedente apparato. Il filo corto dà commozioni deboli, e scosse molto energiche il filo lungo: si possono poi a piacere raccogliere le correnti dell'uno, o dell'altro circuito. I due reofori si annettono in G, G'. Un'armatura di ferro

(*) Per mantenere il magazzino magnetico ben calamitato, è necessario, quando non si usa l'apparato, far sostenere dai suoi poli una proporzionata ancora di ferro dolce, che va tolta allorchè si vuole adoprare la macchina, e quindi va rimessa in modo, che avanti ad uno stesso polo stia sempre una medesima sua parte. Non si deve poi mai strappare l'ancora bruscamente, il che potrebbe far perdere il potere magnetico alle calamite; ma è bene tirarla lateralmente, e quando abbia essa abbandonato un polo, distaccarla dall'altro coll'inclinarla da una parte. Se il potere magnetico siasi un poco diminuito, si può ravvivare coll'aggiungere all'ancora un pesetto, il quale si deve ogni giorno gradatamente aumentare, finchè l'apparato non abbia ripresa la primiera sua attività. Una piccola macchina magneto-elettrica simile alle due precedenti è presentemente in grande uso presso i medici. In questa la calamita giace sopra una sua branca, e lateralmente ai poli ha un'ancora, la quale si può allontanare da essi, tirandosi un bottone, che sporge fuori dalla cassetta, in cui l'apparecchio è contenuto. Per un principio, che si esporrà nella descrizione della seguente macchina, quando l'ancora sta a contatto dei poli, le correnti indotte sono poco o nulla intense, e l'energia di esse aumenta via via che l'ancora si allontana. Può avvenire, che un malato non possa tollerare le scosse nemmeno quando l'ancora aderisce ai poli, nel qual caso si possono indebolire di più le correnti indotte col porre avanti ai poli un piccolo pezzo di ferro dolce, ad esempio, una chiave. Per poco che la calamita si sposti dai cilindri induttori, la macchina si rende quasi inattiva, e nel riporla alla sua posizione normale, fa d'uopo ben badare, che i due poli stiano ad una distanza rigorosamente eguale dai due cilindri suddetti. Si deve pure usare gran cura nel tenere ben nètti dall'ossido i contatti metallici, ad esempio, gli estremi dei reofori, ed i fori, in cui quelli s'internano.

dolce PP' posta vicino ai poli della calamita riceve per mezzo d'una ruota dentata E e di una catena senza fine un rapido movimento di rotazione intorno all'asse FF', a cui sta annessa, comunicandosi il moto alla detta ruota per mezzo del manubrio M. Quando l'armatura è verticale, ossia quando sta dirimpetto ai poli, essa si magnetizza per influenza della calamita, la quale per ciò perde di forza: quando poi l'armatura si mette orizzontale, la calamita non agisce più su di essa, e quindi riprende tutto il suo potere. Per conservare la magnetizzazione della calamita, si tiene a contatto de'suoi poli un'asta di ferro dolce T, che si toglie, quando si vuole usare dell'istrumento. L'energia delle correnti indotte si può graduare coll'allontanare od avvicinare la calamita all'armatura per mezzo della vite V. Se si vogliano raccogliere soltanto le correnti, le quali procedano in una direzione, s'introduce nel circuito un *reotomo*, che consiste in una ruota, il cui contorno è formato di pezzi di legno e di metallo alternati fra loro. Una molla, a cui è congiunto uno dei due reofori, preme su questo contorno del reotomo, e quando tocca il metallo chiude il circuito, il quale è interrotto allorchè la molla è in contatto col legno. Le cose poi si dispongono in guisa, che girando la ruota, quando hanno luogo le correnti rivolte in un senso, trovasi chiuso il circuito, il quale è aperto allorchè succedono le correnti opposte.

450. Apparato magneto-faradico di Gaiffe. — Gaiffe ha costruito un apparato, che in sè unisce le disposizioni di quelli di Clarke e di Breton. In questo apparecchio le branche della calamita fissa sono introdotte in due rocchetti vestiti d'elica, come nell'istrumento di Breton, ma l'armatura rotante porta due rocchetti induttori consimili a quelli della macchina di Clarke. I due sistemi di rocchetti dànno correnti indotte, che a piacere possono essere raccolte o separatamente od insieme.

451. Confronto tra gli apparati volta-faradici e magneto-faradici. — E ben naturale la domanda: quali sono da preferirsi, gli apparati volta-faradici, od i magneto-faradici? Per rispondere notiamo, che nei primi la frequenza delle correnti indotte e quindi delle scosse si può variare a piacere coll'avvicinare più o meno il martello del tremolante all'elettro-calamita (440) senza che tal variazione di frequenza influisca sull'intensità delle commozioni. Non avviene lo stesso negli apparati magneto-faradici, nei quali coll'aumentare la velocità di rotazione si aumenta l'intensità di ciascuna scossa, e non si può diminuire il numero di queste senza farne diminuire la potenza. Nè si può esser certi di compensare tale decremento di energia coll'avvicinare di più la calamita ai cilindri d'induzione, poichè non è noto qual sia il rapporto, secondo cui cresce l'intensità col diminuire della distanza. Che se si reputa incomodo l'uso delle pile negli apparati elettromagnetici, tale incomodo è ben compensato, da che gli apparati suddetti funzionano da sè, e non richiedono l'opera continua dell'uomo. Secondo questi riguardi, gli apparati volta-faradici sono da preferirsi agli altri.

CAPO XVI.

TERMO-ELETTRICITÀ

452. Esperienza di Seebech. — Sapevasi che parecchi cristalli naturali, come la tormalina, acquistano l'elettricità di tensione, quando se ne eleva la temperatura, e Volta aveva annunciato che una lamina d'argento riscaldata disugualmente alle due estremità costituisce un elemento elettro-motore, quando Seebech professore a Berlino rese manifesto nel 1821 come il movimento del calore in un circuito metallico poteva dare origine a correnti elettriche, le quali presero nome di *correnti termo-elettriche*. Queste si sperimentano nel seguente modo. Una verga di bismuto B (fig. 253) sia saldata alle sue estremità ad una lamina di rame R piegata in modo da aversi un circuito rettangolare. Un ago calamitato *sn* sostenuto da una punta è posto dentro al rettangolo, il cui piano si dispone parallelamente al meridiano magnetico. Si scaldi con una fiaccola una delle due saldature, ad esempio S; si vedrà l'ago spostarsi, e colla legge di Ampère (406) si verrà a conoscere, che circola nel rettangolo una corrente elettrica, la quale nella saldatura riscaldata va dal bismuto al rame. Fino a tanto, che vi è differenza di temperatura tra le due saldature S, S' persiste la corrente, la quale è proporzionale alla differenza suddetta.

453. Elemento termo-elettrico di Povillet. — Le cose ora dette meglio si dimostrano, disponendo l'elemento come ha fatto Povillet (fig. 254). Alle estremità della verga di bismuto B piegato a ferro di cavallo si saldino due fili di rame R, R': s'immerga la saldatura S in un vaso pieno d'acqua bollente, e la saldatura S' in un vaso contenente ghiaccio, che si fonde. Si uniscano poi i fili R, R' cogli estremi del filo d'una bussola dei seni (419), e si vedrà una deviazione costante nell'ago calamitato. Si chiami con 1 l'intensità della corrente in questo caso, in cui la differenza di temperatura tra le due saldature è 100, ed invece dell'acqua bollente si ponga nel primo vaso acqua riscaldata a 50°: la deviazione dell'ago indicherà, che l'intensità della corrente è ridotta ad un mezzo; il che prova, l'intensità della corrente in un dato circuito essere realmente proporzionale alla differenza di temperatura delle due saldature.

454. Teoria di Becquerel. — Le correnti termo-elettriche non possono essere attribuite ad azioni chimiche, perchè Becquerel

verificò prodursi esse anche nel vuoto e nell'azoto; nemmeno possono aver per causa il contatto dei due metalli, poichè si possono ancora sviluppare nei circuiti d'un sol metallo, in cui sia tolta l'omogeneità col ripiegare o torcere in un punto la verga di metallo. Per la qual cosa conchiuse lo stesso Becquerel, che esse correnti dipendono sempre dall'ineguale propagazione del calorico a traverso delle diverse parti del circuito. Ammise egli, che quando un circuito metallico è riscaldato in una delle sue parti, l'equilibrio del fluido elettrico naturale si turba in modo, che al momento in cui le molecole si scaldano, esse si elettrizzano in più. Indi riscaldandosi le molecole successive, si elettrizzano anche queste positivamente, mentre le precedenti tornano allo stato elettrico neutro, e così di seguito: onde a misura che il calore si propaga nel circuito, viene ancora a propagarsi una corrente elettrica positiva, che va dalla parte più calda alla più fredda. Ciò posto, siccome in un circuito omogeneo il calorico egualmente si propaga in ambedue le direzioni, il punto riscaldato dà origine a due correnti contrarie e di eguale intensità, il cui effetto sarà nullo sull'ago magnetico. Che se il circuito cessi d'essere omogeneo, la conduttricità calorifica non sarà più la stessa da ambedue le parti, ed il circuito, riscaldandosi più in un senso che nell'altro, sarà percorso da due correnti elettriche, procedenti in senso opposto, di disuguale intensità, in guisa che l'energia della corrente osservata sarà eguale alla differenza di quella delle due suddette.

455. Confronto d'un elemento termo-elettrico con un elemento alla Daniell. — La legge di Ohm (424) si applica assai bene agli elementi termo-elettrici: ma essendo in questi del tutto trascurabile la resistenza interna R, la formola si riduce ad $I=\frac{E}{r}$, essendo I l'intensità ed E la forza elettro-motrice, allorchè le saldature siano mantenute una alla temperatura 100 e l'altra alla temperatura zero: dalla qual formola si ricava $E=I\times r$. Se adunque si calcoli in lunghezza del filo del reostato la resistenza r (422), e si misuri con una bussola l'intensità I, potremo conoscere la forza elettro-motrice E. In tal modo si è potuto constatare, che la forza elettro-motrice di un elemento termo-elettrico di bismuto e rame è 256 volte più piccola di quella d'un elemento di Daniell (395). Dalla formola $I=\frac{E}{r}$ risulta, che duplicandosi, triplicandosi, ecc. la resistenza del circuito, l'intensità della corrente termo-elettrica si riduce alla metà, alla terza parte ecc. della primiera; ed è per questo, che la corrente suddetta non può sormontare grandi resistenze, onde non passa affatto attraverso d'un liquido. Discende ancora da ciò, che per le correnti termo-elettriche bisogna far uso d'un galvanometro, il quale presenti poca resistenza, cioè che sia formato d'un grosso e corto filo.

456. Scala dei metalli, con cui si formano gli elementi termo-elettrici. — Gli elementi termo-elettrici non si fanno solamente di bismuto e rame, ma di altri metalli ancora. Si è conosciuto colla esperienza, che ciascun metallo della tavola seguente è positivo rapporto agli altri che lo seguono:

Antimonio. — Ferro. — Argento. — Zinco. — Rame. — Oro. — Platino. — Mercurio. — Lega di nikel, rame, zinco. — Bismuto.

Ad esempio abbiamo veduto, che fatto il circuito di rame e bismuto, nella saldatura più calda passa la corrente dal bismuto al rame; dunque in un circuito esterno la corrente andrà dal rame al bismuto, e per ciò il rame sarà il polo positivo, il bismuto il polo negativo dell'elemento.

457. Pile termo-elettriche. — Ad aumentare l'energia delle correnti suddette, Oersted e Fourier composero con più elementi le pile termo-elettriche. Sia MN (fig. 255) una spranga rettilinea, curvilinea, o poligona formata di piccole lastre alternate A d'antimonio, e B di bismuto, saldate le une all'altre in 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Se si chiuda con un filo metallico un circuito fra M, N, e si scaldi la saldatura 1, andando, come risulta dal precedente paragrafo, la corrente nella saldatura riscaldata dal bismuto all'antimonio, si genererà una corrente diretta nell'interno della verga da N verso M. Che se invece si fosse scaldata la saldatura 2, passando sempre nella saldatura più calda la corrente dal bismuto all'antimonio, questa in tal caso avrebbe una direzione opposta alla precedente, ossia diretta da M verso N. Per il che non si avrebbe alcuna corrente, se si scaldassero egualmente due saldature consecutive. Si scaldino le saldature dispari 1, 3, 5, 7, 9; le correnti parziali saranno dirette nel medesimo senso, si sommeranno, e sarà M il polo positivo della pila, ed N il negativo. Si sommeranno egualmente le correnti parziali, quando si riscaldino le saldature pari 2, 4, 6, 8, ma saranno in questo caso M il polo negativo, N il positivo.

Partendo da questo principio Oersted e Fourier formarono le prime pile termo-elettriche, col costruire una specie di contorno poligonale con parallelepipedi alternati d'antimonio e bismuto. Le saldature erano scaldate una si ed una no da lampade a spirito. Era però cosa difficile il riscaldare tante saldature così disposte senza che si aumentasse la temperatura anche delle intermedie. Forse fu per questa imperfetta disposizione, che Oersted e Fourier annunciarono, che secondo le loro esperienze nelle pile termo-elettriche, se col numero delle coppie si aumenta l'intensità della corrente, questa quasi nella medesima proporzione diminuisce per la maggior lunghezza del circuito interno. Altri fisici erano dello stesso parere, quando Nobili e Melloni osservarono, che aumentando il numero degli elementi, e per conseguenza anche il circuito, si accresceva sempre l'energia della pila di una data notevole quantità per ogni elemento aggiunto.

458. Pila a scatola di Nobili. — A togliere l'incomoda disposizione delle pile di Oersted e Fourier, il Nobili piegò la spranga formata di parallelepipedi alternati di antimonio e bismuto a modo di *zig-zag* come vedesi nella fig. 256, in guisa che tutte le saldature di numero pari si trovassero da una parte, e quelle di numero dispari dall'altra. Seppellì la detta pila in un mastice contenuto in una scatola di bosso in modo, che emergessero dal mastice solamente le saldature superiori. I due poli della pila comunicavano per mezzo di due fili di rame, che escivano per due fori praticati

nella scatola, cogli estremi del filo d'un galvanometro, il quale filo era grosso e corto in modo da fare non più che 50 giri intorno all'ago magnetico. La scatola è chiusa da un coperchio, che si rimuove soltanto quando si vuole disporre l'apparato per l'esperienza. Dassi a questo il nome di *pila a scatola*, e serve da delicato termometro. Quando si vuole esplorare la temperatura d'un corpo, basta di porlo a contatto colle saldature scoperte della pila. Il calorico si comunica ad esse, ma non potrà comunicarsi all'altre, venendo impedito il passaggio ad esse dalla coibenza del mastice. Quanto più grande è la differenza di temperatura delle saldature pari e dispari, tanto maggiore è la corrente termo-elettrica, e quindi tanto più grande la deviazione dell'ago magnetico.

459. Apparato termo-elettrico di Melloni. — Il Melloni perfezionò la pila di Nobili, riducendola a minor volume col toglier via il mastice. A tale scopo riunì le coppie di bismuto e di antimonio in modo, che dopo di avere composta una fila di cinque elementi della forma indicata dalla fig. 257, l'asta di bismuto ultima si saldava lateralmente coll'antimonio d'una seconda fila simile, che incominciava però in basso coll'antimonio. L'ultimo bismuto collocato in alto di questa seconda serie egli saldò lateralmente coll'antimonio d'una terza serie disposta come la prima, e così di seguito, in modo da formare un complesso di 20 a 30 elementi. Le lamine di antimonio e bismuto si fanno per lo più lunghe trenta millimetri, larghe due, ed erte uno, e le coppie dei vari strati sono isolate tra loro per mezzo di liste di carta coperta di vernice coibente. Tutta la pila è chiusa in un astuccio di rame A, A (fig. 258), che si può chiudere in un altro diviso in due parti T, T', le cui estremità esterne sono fornite d'una porticina, la quale a piacere può esser chiusa od aperta. Tale apparato prende il nome di *pila a cannocchiale*. Il Melloni, avendo tinto in nero le saldatare degli elementi, le quali sporgono da una parte, ed avendo uniti i poli con i fili d'un galvanometro, potè ottenere il più sensibile indicatore del calorico raggiato da un corpo, il quale calorico è concentrato sulle saldature annerite per mezzo d'uno specchio concavo riflessore. Con questo apparecchio, detto ancora *termo-moltiplicatore*, viene notato dalla deviazione dell'ago magnetico il calore raggiato da un uomo distante 10 metri, e si ha indizio d'un aumento di temperatura di $\frac{1}{6000}$ di grado.

460. Pila termo-elettrica di Becquerel. — Becquerel ha fatto costruire da Ruhmkorff una pila termo-elettrica composta di verghe di solfuro di rame fuso, e d'una lega di nikel, rame e zinco detta *maillechort*. S'abbia una sbarra di solfuro di rame posta verticalmente, e saldata nel suo estremo inferiore all'estremo d'un'altra verga di lega piegata e rivolta all'insù, e che nella parte superiore si salda all'estremo superiore della verga di solfuro del secondo elemento, e così di seguito. Ogni saldatura superiore porta un'appendice metallica, che sporge in fuori lateralmente. Gli elementi vengono collocati in due file una per parte d'un regolo orizzontale di legno in modo, che le appendici suddette sporgano in fuori. Al disotto di questo apparecchio corrono due tubi conducenti

il gas, che brucia sotto ciascun'appendice: in tal modo vengono a scaldarsi le saldature superiori.

461. Aghi termo-elettrici. — Per poter studiare la temperatura delle parti interne dei corpi animali, in cui non può introdursi il termometro, ad esempio la temperatura dell'interno d'un muscolo, si adoprano gli *aghi termo-elettrici* ideati da Becquerel. Un ago termo-elettrico è costituito di due aghi uno di rame, e l'altro di ferro saldati fra loro in un estremo. La saldatura può farsi nella parte non acuminata in modo che i due aghi formino una sola verga rettilinea acuminata nei due estremi, avente in mezzo la saldatura, e tali sarebbero gli aghi ab, $a'b'$ (fig. 259): ovvero gli aghi possono essere a *saldatura terminale*, possono cioè l'ago di ferro e quello di rame essere insieme saldati nella parte acuminata, in guisa che formino un angolo assai acuto come vedesi nella fig. 260. Si debbono sempre usare insieme due aghi termo-elettrici. S'immagini (fig. 259) che si abbiano due di quest'aghi ab, $a'b'$; e gli estremi a, a' di ferro dei medesimi si facciano comunicare fra di loro per mezzo d'un filo di ferro f, facendo pure comunicare gli estremi b, b' di rame per mezzo di fili di rame r cogli estremi del filo d'un galvanometro G. Ognuno vede, essersi con ciò formato un vero apparecchio termo-elettrico; ond'è che prodotta una differenza di temperatura tra la saldatura d'un ago e quella dell'altro, si genera una corrente termo-elettrica, che sarà più o meno energica, quanto maggiore o minore sarà la detta differenza di temperatura; la quale corrente farà spostare più o meno l'ago magnetico. Dalla direzione, che prende questo, potremo conoscere, quale delle due saldature sia la più calda; imperocchè risulta dalla tavola del paragrafo 456, che la corrente va dal rame al ferro nella saldatura più calda. Quando si voglia con questo apparecchio conoscere la temperatura interna di un muscolo, si conficca in questo uno dei due aghi in maniera che la saldatura di esso stia nell'interno del muscolo; e l'altro ago si tiene nella bocca colla saldatura sotto alla lingua insieme al serbatoio d'un piccolo termometro indicante la temperatura delle regione sublinguare. Si potrà con ciò venire in cognizione della differenza della temperatura di essa regione e di quella della parte osservata. Si può ancora invece di tenere il secondo ago sotto alla lingua, porlo in un bagno di temperatura costante e nota. È poi cosa necessaria, previamente graduare l'apparato; il che così si effettua. Le estremità dei due aghi di ferro (fig. 260) siano unite, come abbiamo detto, fra di loro per mezzo del filo di ferro f, e le estremità degli aghi di rame siano congiunte per mezzo dei fili di rame R agli estremi del filo del galvanometro G posto sopra una tavola annessa al muro. Una delle saldature S è posta in un vaso A contenente molt'acqua, la cui temperatura poco varia durante la giornata, specialmente se si opera in una sala esposta al nord. L'altra saldatura S' è immersa in un vaso B più piccolo e pieno d'acqua, la cui temperatura misurata da un termometro può rendersi più o meno elevata coll'aggiunta d'una conveniente quantità d'acqua calda o fredda. Il termometro deve esser capace d'indicare fino il decimo di grado: s'immerge questo di tratto in tratto nel bagno A, e si nota la relativa

temperatura, e poi si tiene continuamente immerso in B, la cui acqua va di tratto in tratto agitata, perchè la temperatura notata dal termometro sia uniforme in tutta la massa. S'interrompe il circuito per vedere dove si fermi l'ago calamitato, quando non passa la corrente, e poi si richiude. Se l'acqua dei due bagni è alla medesima temperatura, l'ago magnetico resta immobile. Si aggiunga acqua calda in B, e dopo di averla mescolata, si nota il grado del termometro e lo spostamento della calamita. L'esperienza dimostra, che l'angolo di deviazione è proporzionale alla differenza della temperatura delle saldature, finchè l'angolo non oltrepassa i 25°. Si forma una tavola in cui si registrano le differenze di temperatura delle due saldature corrispondenti agli angoli di spostamento dell'ago galvanometrico.

462. Relazione tra l'elettrico ed il calorico. — Giova dopo l'esposto osservare la grande relazione che passa tra l'elettricità ed il calore. Il calorico contrariato nella sua propagazione si converte in elettricità, come abbiamo ora osservato, e l'elettricità contrariata nei suoi movimenti può trasformarsi in calorico, come si disse allorchè si parlò dei fenomeni della pila (374, 375). È inoltre cosa ben singolare, che fatta passare attraverso della saldatura d'un elemento termo-elettrico una corrente elettrica, la saldatura si riscalda, se la corrente è in direzione contraria a quella che si genererebbe quando la saldatura stessa venisse riscaldata; ma si raffredda se la corrente si mandi nell'opposta direzione.

CAPO XVII.

APPARECCHI USATI NELL'ELETTRO-FISIOLOGIA

463. *Elettrodi senza polarizzazione* — 464. *Chiave di Du-Bois-Reymond* — 465. *Commutatore di Ruhmkorff* — 466. *Pinzetta elettrica.*

463. Elettrodi senza polarizzazione. — Noi vedremo nel seguente capitolo, come i muscoli ed i nervi siano la sede di correnti elettriche, le quali debbono essere accuratamente studiate dal fisiologo. Tale studio esige l'uso di alcuni apparati, dei quali ora intendiamo parlare. In primo luogo diciamo, che le dette correnti si osservano, mettendo i tessuti animali in comunicazione con un sensibilissimo galvanometro posto sopra una tavola fissa al muro (405). Gli estremi del filo metallico di questo non si possono mettere in immediato contatto con i tessuti animali, perchè contengono questi dei liquidi, i quali, agendo chimicamente sul filo metallico, possono far nascere correnti (366) che, procedendo o in un senso o nell'altro, vengono ad aumentare o a diminuire la corrente che si vuole sperimentare. Ciò sempre ha luogo qualunque

sia il metallo adoperato, compreso il platino, il quale immerso anche nella sola acqua distillata dà luogo ad una debole corrente, capace però di dar segni di sè in un delicato galvanometro. Sappiamo inoltre (385), che gli elettrodi si polarizzano, producendo una corrente, che si oppone a quella con cui si opera. È adunque necessario per le delicate esperienze elettro-fisiologiche adottare elettrodi che non presentino questi difetti. Regnault ha fatto conoscere, che lamine di zinco amalgamato immerse in una soluzione di solfato di zinco puro non danno alcuna corrente, e dopo di avere servito da elettrodi in una pila, non si rinvengono polarizzate. È per questo che negli esperimenti fisiologici si usano per elettrodi vasi di zinco pieni di solfato del medesimo metallo. Du-Bois-Reymond ha dato a questi la forma seguente. Sopra un sostegno di sostanza isolante I (fig. 261) è fissato un vaso di zinco fuso Z, le cui pareti interne sono bene amalgamate. Esso vaso è pieno d'una soluzione di solfato di zinco. Un cuscino C formato d'un gran numero di fogli di carta da filtro è immerso nella detta soluzione, di cui rapidamente s'imbeve. Due bordi laterali rilevati ed una verga *b* tenuta ferma da una legaccia di caucciù mantengono fisso il cuscino, che presenta una superficie orizzontale, ed un lato verticale. Il vaso di metallo porta in alto una morsetta *d* per fissare il filo conduttore, ed un manico B, che permette di trasportarlo facilmente. Si dispongono due simili vasi l'uno di fronte all'altro, e le morsette di essi si mettono in comunicazione con i fili del galvanometro. Se si pongano a contatto i due lati verticali dei cuscinetti, quantunque il circuito sia con ciò chiuso, pure l'ago magnetico non si sposta. Prima di porre sui due cuscini il muscolo od il nervo M, la cui naturale corrente si vuol misurare, si coprono essi d'un sottile strato *a* d'argilla bianca macinata con una soluzione contenente 1 per 100 di sale marino, il quale strato non esercita alcun'azione sui tessuti organici, che sarebbero rapidamente alterati dal solfato di zinco. Avanti d'adoprare questi elettrodi, è sempre bene assicurarsi, che posti essi a mutuo contatto, come testè si è detto, non fanno in alcun modo spostare l'ago magnetico.

464. Chiave di Du-Bois-Reymond. — Avviene spesso negli esperimenti di elettro-fisiologia di dovere rapidamente in qualunque istante aprire e chiudere il circuito della pila. Ciò si può ottenere col tagliare in un punto il reoforo, e fare che l'estremo d'una parte di questo stia sempre immerso nel mercurio contenuto in un vaso, nel quale immergendo l'estremo dell'altra parte del reoforo, si chiude il circuito, mentre questo rimane aperto, quando l'estremo del filo suddetto si faccia dal mercurio emergere. Du-Bois-Reymond per ottenere questo medesimo intento ha costruito un apparato da lui detto *chiave*, che è assai comodo. Sopra una placca di caucciù (fig. 262) indurito, sostanza isolante, sono fissati due parallelepipedi d'ottone *a*, *b* aventi ciascuno due viti. Una leva metallica mobile intorno ad un asse pur di metallo e fisso al parallelepipedo *b* può essere abbassata ed elevata per mezzo d'un manico di avorio. Se la leva si abbassa, tocca il parallelepipedo *a*. Comunichi con *a* il polo positivo d'una pila, e con *b* il polo negativo. Si comprende, che stando bassa la leva, il circuito è chiuso, e che questo è in-

terrotto, quando quella stia alzata. È spesso utile di unire i due parallelepipedi con un circuito conduttore C, che offra alla corrente una certa resistenza, contenendo un galvanometro, ecc., mentre si tengono come prima *a*, *b* in comunicazione con i poli della pila. In questa disposizione di cose essendo la chiave sollevata, la corrente è obbligata a percorrere il circuito C; ma se si abbassa la chiave, la leva metallica offre sì debole resistenza, che quasi tutta la corrente l'attraversa, non passandone per il circuito C che una parte insignificante (429).

465. Commutatore di Ruhmkorff. — Può occorrere il bisogno di far cambiare la direzione ad una corrente elettrica. Ciò si ottiene coi *commutatori*, il più semplice dei quali è quello di Ruhmkorff (fig. 263). Un cilindro di vetro o di altra sostanza isolante è attraversato da un asse metallico interrotto nel mezzo, le cui estremità esterne penetrano in due lamine verticali, munita ciascuna d'una pinzetta a vite, che riceve uno dei reofori della pila: comunichi *a* col polo positivo, *b* col negativo. Due lastre metalliche V, V' curvate coprono due parti opposte della superficie cilindrica, e per mezzo di due viti comunicano V colla parte *a* dell'asse e V' colla parte *b*. Due molle metalliche *r'*, *r* congiunte alle pinzette N, M, le quali portano i fili d'un circuito, premono la superficie cilindrica. Quando la molla *r'* tocca la lamina V, ed *r* la lamina V', la corrente della pila passa da *a* in V e quindi per la molla *r'* si reca in N, percorre il circuito, ed in fine rientrando per M si porta in *r*, nella lamina V', in *b*, e quindi al polo negativo. Che se per mezzo del bottone B si faccia girare il cilindro in modo, che la lamina V tocchi *r*, e V' *r'*, la corrente percorrerà il circuito stesso, ma in una direzione tutta opposta, cioè passerà per V, *r*, M . . . N, *r'* V' *b*. Infine se si giri il bottone in maniera che le molle non tocchino le lamine metalliche, ma la superficie di vetro interposta alle lamine V, V', la corrente rimane interrotta.

466. Pinzetta elettrica. — Quando con una corrente elettrica si voglia eccitare un muscolo od un nervo, si fa uso dai fisiologi della *pinzetta elettrica* (fig. 264). Due lamine metalliche M, N terminano nella parte inferiore in due punte di platino P, P', e sono tenute fisse nella parte superiore, e separate tra di loro mediante un pezzo d'avorio L, materia coibente. D'avorio sono ancora coperte le facce interne delle due lamine, le quali nella loro parte superiore sono congiunte per mezzo di viti ai due reofori della pila. S'infilzano le due punte P, P' nel muscolo o nel nervo, e la corrente sarà costretta di attraversare quella parte di muscolo o nervo, che è intercettata dalle due punte.

CAPO XVIII.

CORRENTE MUSCOLARE E NERVOSA

467. Esperimenti di Galvani e di Humboldt. — Noi abbiamo veduto (362, 363) come Galvani ed il suo nepote Aldini, ponendo in comunicazione un nervo crurale d'una rana colla superficie esterna del muscolo, fecero produrre le commozioni nell'animale, le quali vennero da essi spiegate coll'ammettere, che le rane ed altri animali a sangue freddo abbiano i muscoli carichi di elettricità, quasi che queste siano tante bottiglie di Leyda. Furono i detti fisici contraddetti, come dicemmo, dal Volta, il quale attribuiva il fenomeno ad elettricità svolta nel contatto di sostanze eterogenee. Quantunque il Volta traesse da ciò occasione di costruire la sua pila; pure errò nel negare, che la rana sia carica naturalmente d'elettricità. Humboldt ha ripetuto le esperienze del Galvani, ed ha osservato, cessare le commozioni della rana, quando la comunicazione tra il nervo ed il muscolo facciasi con un corpo isolante, mentre hanno luogo, allorchè si stabilisca la comunicazione con un filo metallico, o con un pezzo di muscolo o di nervo. Gli stessi fenomeni si osservano sperimentando su d'una gamba di coniglio, di piccione, o di qualunque altro animale, ma con questa differenza, che mentre le contrazioni non hanno più luogo negli altri animali dopo pochi minuti dalla morte, nella rana possono prodursi anche molte ore dopochè questa è avvenuta.

468. Esperienze di Nobili. — L'esistenza d'una corrente nella rana fu posta fuori di dubbio da Nobili. In due vasi A, B (fig. 265) si pone dell'acqua, a cui si unisce un poco di sale per renderla più deferente. In uno dei due vasi s'immergono i nervi crurali d'una rana, le cui gambe si fanno pescare nell'altro vaso. Immersa in ciascun liquido una lamina di platino P, P'; queste lamine si fanno comunicare cogli estremi del filo d'un galvanometro. Chiuso il circuito, l'ago magnetico devia, e con ciò indica l'esistenza d'una corrente, che nel circuito esterno è diretta dai nervi ai muscoli, e che per conseguenza nell'interno della rana va dai muscoli ai nervi. A questa corrente si è dato il nome di *corrente propria della rana*. Avendo Nobili costruita una specie di pila di rane disposte in modo, che i nervi dell'una tocchino le gambe dell'altra e così di seguito, ha veduto l'intensità della corrente crescere col numero delle rane.

469. Esperienze di Matteucci. — Avendo fatte molte esperienze sulla corrente propria della rana, Matteucci è giunto a dimo-

strare l'esistenza della corrente elettrica nei muscoli interi, e nelle loro parti. Ha posto un estremo del filo galvanometrico in comunicazione colla parte superiore di una gamba, e l'altro coll'estremità inferiore in una rana vivente, ed ha ottenuta una corrente diretta nell'animale dai piedi alla testa: è questa una corrente muscolare, che corrisponde alla corrente propria della rana secondo Nobili. Dopo di avere in tal modo dimostrata l'esistenza della corrente muscolare nell'intero muscolo, Matteucci ha resa manifesta l'esistenza della corrente nei muscoli, le cui fibre siano state tagliate. Fatto un taglio nella coscia d'una rana vivente, e posto in comunicazione un estremo del filo del galvanometro colla parte profonda della piaga, mentre l'altro estremo del filo toccava la superficie della coscia, ha avuto segni d'una corrente diretta nel muscolo dall'interno all'esterno. Ottenne consimili risultati, operando sopra muscoli tagliati appartenenti ad altri animali viventi, piccioni, pollastri, conigli ecc. Ha poi osservati più energici effetti, formando una pila colle mezze coscie di rana disposte in serie in modo, che la base superiore d'una mezza coscia stia a contatto colla base inferiore della seguente mezza coscia, e così via via. Con questa pila ha potuto deviare l'ago magnetico per 90°, e decomporre il joduro di potassio. Si possono formare pile analoghe con muscoli di piccione. L'intensità della corrente cresce col numero degli elementi.

470. Legge della corrente muscolare — Du-Bois-Reymond con numerosi esperimenti ha potuto stabilire una legge relativa alla corrente muscolare. A bene intender questa si noti, chiamarsi *sezione longitudinale naturale* d'un muscolo, la superficie di questo, che presenta solamente i lati dei prismi formanti il fascio principale, dicendosi *sezione longitudinale artificiale* la superficie fatta con un taglio parallelo alle fibre. Si dà poi il nome di *sezione trasversale* alla superficie formata dalle basi delle fibre, e questa è *naturale*, quando si compone delle estremità dei fasci primitivi, che vanno a terminare ai tendini del muscolo, ma è *artificiale*, se è prodotta con un taglio perpendicolare alla lunghezza delle fibre. Ciò notato, diciamo, che la legge data da Du-Bois-Reymond si esprime così: tutte le volte che per mezzo d'un arco conduttore si unisce un punto qualunque d'una sezione trasversale, naturale od artificiale, d'un muscolo con un punto qualunque d'una sezione trasversale naturale od artificiale, si produce una corrente elettrica diretta nell'arco conduttore dalla sezione longitudinale alla trasversale: od in altri termini; ciascun punto della superficie longitudinale, naturale od artificiale, d'un muscolo è positivo relativamente ai punti d'una sezione trasversale, naturale od artificiale. Per verificare questa legge si usano i reofori senza polarizzazione (463), i quali si fanno comunicare con un delicato galvanometro. Si stacca un muscolo d'una rana, e la sezione trasversale si pone a contatto con uno dei cuscini, mentre la superficie esterna del muscolo tocca l'altro cuscino. Tosto si vede deviare l'ago del galvanometro, ed il senso della deviazione, che rimane costante, indica la superficie esterna essere positiva relativamente alla sezione trasversale del muscolo. Devesi adunque ammettere nei muscoli una forza elettro-motrice, che agisce continuamente, finchè il tessuto animale trovasi allo stato normale e che separa le due elettricità

in guisa, che l'elettricità positiva va alla superficie esterna del muscolo, e la negativa alla sezione trasversale naturale rappresentata dal tendine, o ad una sezione artificiale fatta perpendicolarmente alla direzione delle fibre.

Regnault ha misurato la forza elettro-motrice d'un muscolo d'un qualunque animale, confrontandola con quella d'una coppia termo-elettrica di bismuto ed antimonio, ed ha trovato che il gastrocnemio d'una rana ha una forza elettro-motrice equivalente a quella di 5, 6 ed anche 7 coppie, e quella della gamba a 10. Ha inoltre verificato Regnault ciò, che aveva scoperto il Matteucci, cioè che la forza elettro-motrice d'un animale a sangue caldo si estingue prima di quella d'un animale a sangue freddo.

Du-Bois-Reymond ha potuto ancora far conoscere, che l'elettricità positiva non è egualmente diffusa su tutta la superficie del muscolo. Se si rappresenti un muscolo con un cilindro retto a base circolare, e s'immagini una sezione fatta con un piano normale all'asse e condotto alla metà di questo, e si tocchino con un arco conduttore due punti simmetrici, collocati cioè ad egual distanza dalla detta sezione, non si avrà alcuna corrente; il che indica, contenere quei due punti eguale quantità di fluido positivo: ma se si tocchino coll'arco due punti non simmetrici, cioè collocati a disuguale distanza dalla sezione suddetta, avrà luogo una corrente causata dalla elettricità positiva, che essendo accumulata più in un punto, che nell'altro, tende a mettersi in equilibrio, la qual corrente, che è sempre assai più debole della corrente muscolare propriamente detta, va nel circuito esterno dal punto più vicino alla supposta sezione al punto più vicino all'estremo del muscolo.

471. Influenza della contrazione sulla corrente muscolare. — La contrazione di un muscolo determinata da un mezzo qualunque fisico, chimico o meccanico dà luogo ad una diminuzione nel potere elettro-motore del medesimo. In realtà, se mentre si sperimenta la corrente muscolare con un galvanometro, si fa contrarre il muscolo, si vede l'ago magnetico tornare verso lo zero, addimostrando una notevole diminuzione nell'intensità della corrente.

472. Corrente nervosa. — Allorchè si dispone un pezzo di nervo nel medesimo modo che un muscolo fra i due cuscini dei reofori senza polarizzazione, si osserva una corrente simile a quella del muscolo per la direzione, una corrente cioè, che procede dalla superficie longitudinale, la quale è positiva, alla superficie della sezione trasversale, che è negativa, passando per il circuito esterno. La corrente del nervo sciatico della rana devia meno l'ago magnetico di quello che faccia un muscolo del medesimo animale offerente dimensioni trasversali più grandi.

473. Stato elettro-tonico di un muscolo. — Allorquando un lungo pezzo del nervo sciatico è collocato sull'argilla dei cuscini dei reofori, se si sollevi un'estremità di esso nervo, e si collochi sopra le due lame di platino di una pinzetta elettrica (466) comunicanti con i poli di una pila; la corrente naturale del nervo è modificata, aumentandosi o diminuendosi la sua intensità a seconda della direzione della corrente della pila. Lo stato del nervo così modificato, ed osservato la prima volta da Du-Bois-Reymond, fu da lui chiamato stato elettro-tonico.

CAPO XIX.

AZIONE DELLA CORRENTE SUI NERVI E SUI MUSCOLI

---

474. Azione delle correnti elettriche nel corpo animale. — Abbiamo noi accennati (371) gli effetti fisiologici della corrente. Essendo però la nozione di questi di somma importanza per il medico, dobbiamo tornare a parlarne più dettagliatamente. Posti i due elettrodi di una pila a contatto con due parti d'un corpo animale, la corrente ne attraversa la pelle e passa per i muscoli, per i nervi, per i vasi, e per gli altri diversi tessuti, come questi formassero una serie di conduttori di natura diversa. Dove la corrente incontra un maggiore ostacolo, ivi produce effetti calorifici, come si può verificare per mezzo degli aghi termo-elettrici (461), e vi dà luogo ancora ad effetti chimici. Gli effetti però, che sono stati più degli altri studiati, sono le sensazioni più o meno vive, il dolore e le contrazioni prodotte negli animali vivi o morti di recente. Notammo, che gli effetti suddetti sono più rimarchevoli nel nostro corpo, se invece di tenere i reofori colle mani asciutte, si tocchino colle mani bagnate d'acqua acidulata o salata. Si avrebbe il medesimo aumento negli effetti, se si togliesse l'epidermide, e ciò perchè coi suddetti modi si diminuisce la resistenza, che il corpo umano presenta alla corrente, la quale resistenza, secondo gli esperimenti di Povillet, per un uomo di mezzana corporatura, e che presenti tutta la superficie della mano alla corrente, è equivalente a quella di un filo di rame, che abbia un millimetro quadrato di sezione ed una lunghezza di 360000 chilometri. Essendo così grande la resistenza del corpo umano, per avere notevoli effetti è necessario usare di una pila a molti elementi disposti in serie (426). Allorchè una corrente attraversa un corpo animale produce, come altrove abbiamo veduto, delle contrazioni, le quali pure si hanno, se nel circuito s'introduce una piccola parte di un nervo o di un muscolo. Le contrazioni però sono più energiche quando l'elettrico attraversa un nervo di quelle che si hanno nel passaggio di detto fluido per un muscolo.

475. Leggi delle contrazioni. — Dopo numerosissimi esperimenti si sono potute stabilire le seguenti leggi relative alle contrazioni prodotte da una corrente elettrica.

1ª LEGGE. Una corrente produce una contrazione debole, o quasi nulla, allorchè attraversa un nervo in una direzione perpendicolare alla lunghezza di esso. Matteucci ha dimostrata questa verità nel seguente modo: Ha prese due gambe di rana (fig. 266), ed ha posti

i nervi crurali, messi a nudo, in direzione incrociata ad angolo retto. Il nervo della gamba A è tagliato ed offre un'interruzione di circa un centimetro, la quale interruzione è occupata da una goccia d'acqua, che pone in comunicazione fra di loro i pezzi di nervo *a*, *b*. Si fa passare tra *a*, *b* una corrente elettrica, la quale attraverserà il nervo C normalmente alla sua lunghezza, e si vedrà che la gamba B non subisce che una contrazione appena sensibile, mentre la gamba A si contrae energicamente. Se la corrente fosse assai potente, si avrebbero le contrazioni in ambedue le gambe, ma quelle di B sarebbero sempre assai più deboli di quelle di A.

2ª Legge. La corrente elettrica agendo su di un nervo misto, che serve cioè al moto ed alla sensibilità, dà luogo alle contrazioni solamente quando incomincia a passare e quando cessa. Questo fatto è stato successivamente studiato da Volta, Valli, Rumford e Pfaff, e si dimostra col far passare dai nervi ai muscoli una debole corrente in una rana preparata alla Galvani, cioè decorticata e di cui si conservino gli arti inferiori attaccati per i nervi crurali alle vertebre spinali. Allorchè la corrente si è stabilita con una intensità costante, i muscoli si pongono in perfetto riposo. Nondimeno i nervi seguono ad essere modificati dalla corrente, la qual cosa si prova da che i nervi nell'interruzione del circuito, tornando allo stato normale, determinano nei muscoli una novella contrazione. Il Nobili spiega questo fenomeno coll'ammettere, che durante il passaggio della corrente una quantità di elettrico si accumuli nel nervo, la quale nell'atto, in cui si apre il circuito, si diffonde nella ramificazione di esso nervo. Ciò spiegherebbe ancora il perchè, quanto più lungo è stato il tempo, che ha durato il passaggio della corrente, tanto più energica è la contrazione che ha luogo nell'interruzione del circuito.

3ª Legge. La direzione della corrente in rapporto alle ramificazioni nervose ha una influenza notevole sull'intensità delle contrazioni. Questa legge osservata da Lehot fu più completamente studiata da Marianini. Ha questo fisico fatto conoscere che le contrazioni, che avvengono nella chiusura e nell'apertura del circuito, non hanno la stessa intensità, specialmente quando si è indebolita l'eccitabilità dell'animale, ma ora è più intensa la prima, ora l'altra, secondo che la corrente procede o in un senso o nell'altro relativamente alla ramificazione del nervo. Si avverta, dirsi la corrente *diretta*, quando procede nella direzione della ramificazione nervosa, e dirsi *inversa*, allorchè corre in direzione contraria. Dopo ciò, diciamo che se la corrente è diretta, la contrazione è più grande alla chiusura del circuito, ma se quella è inversa, è più energica la contrazione, la quale succede all'apertura. Tutto al contrario avviene riguardo all'effetto doloroso che è assai più vivo quando la corrente è inversa. Si spiega da ciò, perchè allorquando l'uomo chiude il circuito di una pila la contrazione è assai più energica nel braccio da cui esce la corrente, che nell'altro per il quale entra. La sovra esposta legge si può dimostrare così: Immersi (fig. 265) i nervi crurali di una rana nel vaso A, si facciano pescare le gambe di questa nel vaso B, contenendo i due recipienti acqua acidulata. Se in A si fa comunicare il polo positivo di una

pila, ed in B il polo negativo, non si avrà alcun effetto all'apertura del circuito, ma si avranno contrazioni alla chiusura del medesimo, perchè la corrente è diretta: che se si cambino i poli, e per ciò la corrente proceda da B in A, le commozioni non avranno luogo al cominciare della corrente, e saranno invece molto vive al cessare di essa. Matteucci ha dimostrata la medesima verità col seguente consimile esperimento. Una delle coscie C di una rana (fig. 267) pesca nel liquido contenuto nel vaso A, e l'altra C' nel liquido, il quale trovasi in B. Fatta passare la corrente da A in B, sul principio hanno luogo le contrazioni in ambedue le coscie tanto nella chiusura che nell'apertura del circuito. Ma poco appresso, indebolitasi l'eccitabilità della rana si ha la contrazione ora in una coscia ora nell'altra; cioè nella chiusura del circuito si contrae la coscia C', in cui la corrente è diretta, e nell'apertura si contrae la coscia C, nella quale la corrente è inversa. Per studiare poi l'effetto doloroso, si mette a nudo il nervo sciatico di un animale vivente, ad esempio di un coniglio o di un cane, e fatta passare per questo una corrente diretta, si avranno energiche contrazioni nella chiusura del circuito, segni di dolore nell'apertura: si avrà tutto il contrario quando la corrente sia inversa.

476. Alternative voltaiche. — Abbiamo detto nel paragrafo precedente, che mentre la corrente circola in un nervo i muscoli stanno in riposo, ma che ciò nondimeno il nervo è continuamente modificato dall'elettricità. Uno degli effetti, che il detto passaggio della corrente produce è l'indebolimento dell'eccitabilità del nervo. Osservò il Volta, che quando un animale era stato sottoposto per una mezz'ora ad una corrente non avevano più luogo in esso le contrazioni egualmente alla chiusura ed apertura del circuito, purchè non venisse ad aumentarsi l'intensità della corrente. Lasciato però l'animale in riposo, riprendeva di nuovo la sua eccitabilità. Avevano pur luogo le commozioni sì al principio che al termine del passaggio della corrente, se dopo di aver fatto proceder questa per lungo tempo in una direzione, si facesse passare in direzione contraria. Si può adunque rianimare l'eccitabilità col far passare la corrente in senso opposto a quello, secondo cui essa procedeva, allorchè ha estinta l'eccitabilità medesima. In ciò consistono le *alternative voltaiche*. Matteucci ha poi dimostrato, che è la corrente diretta quella che indebolisce l'eccitabilità, e l'inversa quella che la conserva ed accresce.

477. Galvanoscopio fisiologico. — Dall'azione fisiologica di una corrente elettrica sopra di un nervo si è tratto il modo di formare il *galvanoscopio fisiologico*, che consiste in una gamba di rana introdotta in un tubo di cristallo coperto di gomma lacca, la qual gamba porta scoperta l'estremità del nervo crurale. Introdotto questo nervo in un circuito, se esiste la corrente, la gamba si contrae o nella chiusura, o nell'apertura del circuito: nel primo caso la corrente, che passa nel nervo, è diretta, nel secondo è inversa.

478. Azione della corrente sui nervi del senso e sui nervi ganglionari. — Quando con una debolissima corrente si eccitino i nervi degli organi sensorii, si producono le sensazioni

proprie dell'organo eccitato, cioè una sensazione luminosa nell'occhio, un suono nell'orecchio, un sapore nel palato. Che se poi la corrente attraversi un nervo del sistema ganglionare, le contrazioni non hanno solamente luogo al principio ed al fine del passaggio della corrente, ma durano finchè dura il detto passaggio, ed anche qualche tempo dopo l'apertura del circuito.

479. Azione delle correnti indotte. — Le correnti indotte esercitano sui nervi e sui muscoli azioni fisiologiche più intense di quelle, che hanno per causa una corrente continua. Se si tocchi un nervo motore con una pinzetta elettrica, le cui branche stiano in comunicazione cogli estremi del filo di un rocchetto indotto; fatto agire l'apparato, il nervo eccitato fa contrarre i muscoli, i quali in seguito delle violenti e ripetute eccitazioni prendono lo stato tetanico.

480. Contrattilità dei muscoli. — Si è detto di sopra (474), che si hanno le contrazioni, se la corrente si fa passare o per un nervo, o per un muscolo: ora si domanda; in quest'ultimo caso l'eccitante elettrico agisce immediatamente sul muscolo, o per l'intermedio del nervo? Claudio Bernard ha dimostrato, la contrattilità appartenere al muscolo indipendentemente alla sua unione col nervo. In verità avvelenato col *curare* un nervo motore d'una rana, questo non opera più sul muscolo, il quale rimane immobile, ancorchè coll'elettrico si ecciti il nervo: ma se la corrente si applica sul detto muscolo per mezzo d'una pinzetta elettrica, il muscolo si contrae.

CAPO XX.

APPLICAZIONI FISIOLOGICHE E TERAPEUTICHE DELL' ELETTRICITÀ

481. Elettrolisi delle sostanze animali. — Si vide (382), che la corrente elettrica è capace di decomporre i sali, portando gli acidi al polo positivo, e le basi al negativo. Contenendo il sangue, il latte e la carne dei sali minerali, questi possono essere dalla corrente decomposti. Avendo Davy immersi gli estremi d'un pezzo di carne in due vasi pieni d'acqua distillata, e posti in comunicazione uno col polo positivo, l'altro col negativo d'una forte pila, trovò in quest'ultimo vaso potassa, soda, calce, ed ammoniaca, e nel primo acido solforico, cloroidrico, fosforico, e nitrico. Il pezzo di carne trattato in tal modo per molti giorni rimase totalmente

privo dei suoi sali. Davy avendo stabilita la comunicazione tra i due vasi per mezzo dei diti ben lavati con acqua distillata, trovò egualmente degli acidi nel vaso formante il polo positivo, e degli alcali nell'altro; dal che dedusse, che l'azione elettrolitica della corrente sulle sostanze animali si esercita egualmente bene nei corpi morti e nei viventi. Agendo colla corrente sui liquidi albuminosi, quali sono il sangue e la chiara d'uovo, si osserva la formazione d'un coagulo al polo positivo, mentre nel polo negativo si deposita una sostanza di consistenza gelatinosa. Prévost e Dumas attribuiscono questo fenomeno all'azione secondaria dei prodotti della decomposizione dei sali minerali sull'albumina: gli acidi, portandosi al polo positivo, vi determinano la coagulazione dell'albumina, e gli alcali, trasportandosi al polo negativo, mantengono in dissoluzione le sostanze albuminoidi.

482. Galvano-puntura. — L'elettrolisi del sangue è stata utilizzata per guarire gli aneurismi. L'elettrodo negativo, che consiste in una lamina metallica fornita di spugna bagnata, si pone disopra all'arteria sulla pelle umida: un fino ago d'argento verniciato fin quasi alla punta è infilzato nei tessuti in maniera, che penetri fino all'interno del sacco aneurismatico. Si annette al detto ago il polo positivo d'una pila di Grove di 10 elementi di piccola dimensione (396) e si comprime l'arteria al disopra del sacco. I sali del sangue si decompongono, e gli acidi si portano al polo positivo, ove si forma un grumo sanguigno, che poco a poco va ad empire il sacco. A tal metodo dassi il nome di *galvano-puntura*.

483. Galvano-caustica chimica. — L'elettrolisi dei sali, che trovansi nei tessuti animali, ha dato modo di cauterizzare facilmente per mezzo dell'elettricità una parte morbosa del corpo umano, ed è stato Cisinelli di Cremona quegli, che ha dato un esatto metodo per eseguire la *galvano-caustica chimica*. Abbiamo poco fa veduto (481), che decomponendosi i sali dei tessuti animali, gli acidi si portano all'anodo, e gli alcali al catodo. Se queste sostanze non possono agire sugli elettrodi, agiscono chimicamente sui tessuti, e producono la cauterizzazione dei medesimi. Al polo positivo si forma un'escara dura simile a quella, che in generale è prodotta dagli acidi, al negativo ha origine un'altra escara molle, come quella che nasce dagli alcali; le quali escare sono limitate ai punti toccati dai reofori. Siccome i tessuti animali presentano, come spesso abbiamo detto, una grandissima resistenza al passaggio della corrente; per ottenere un buon'effetto è necessario usare una pila di grande tensione costituita da più coppie disposte in serie (426). Gli elementi poi debbono essere a piccola superficie, il che rende debolissimi gli effetti calorifici. La forma degli elettrodi dipende dalla disposizione ed estensione delle parti, che si vogliono cauterizzare. Generalmente parlando, si fa uso di aghi metallici, che si configgono nel tessuto ad una data distanza fra di loro, e debbono essere di tale sostanza, da non essere intaccata dai prodotti dell'elettrolizzazione; cioè il catodo non deve essere attaccato dagli alcali, e l'anodo dagli acidi. Quando adunque si vogliano ottenere le cauterizzazioni ad ambedue i poli, l'elettrodo positivo potrà farsi o di platino, o di acciaio dorato, ed il negativo di rame o di acciaio.

Che se vogliasi la cauterizzazione ad un solo polo, l'altro si deve applicare alla superficie del corpo.

484. Galvano-caustica termica. — Nel cauterizzare i tessuti animali fin da molto tempo si è fatto uso del potere che ha la corrente elettrica di arroventare un sottile filo metallico da essa attraversato (374). A tale applicazione della corrente dassi il nome di *galvano-caustica termica*. Il cauterio elettrico consiste in un filo di platino, il quale posto in comunicazione coi poli d'una pila si arroventi. Si è scelto a preferenza degli altri metalli il platino, perchè, essendo dotato di poca conduttricità elettrica, presenta maggiore resistenza alla corrente, ed obbliga per ciò l'elettricità a convertirsi in calore; e perchè per la poca sua fusibilità si può portare ad altissima temperatura senza che abbia a liquefarsi. La comunicazione poi tra il detto cauterio ed i reofori si fa per mezzo d'un apposito manico isolante di legno o di avorio FG (fig. 268), il quale è attraversato nella sua lunghezza da due verghe di rame BC, DE, le cui parti estreme inferiori C, E si congiungono ai reofori, e le cui parti superiori B, D terminano in due cilindretti cavi, nei quali si innestano gli estremi del filo di platino, di cui è formato il cauterio, i quali estremi del platino sono tenuti fissi per mezzo delle due viti di pressione *m*, *n*. Perchè l'operatore possa chiudere ed aprire il circuito a suo piacimento e con massima speditezza, la verga DE è interrotta nel punto *z*, e per la sua elasticità la parte inferiore sta discosta dalla superiore, e non la tocca; quindi non si chiude il circuito, se non quando viene spinto in dentro il bottone R.

Al cauterio si dà diversa forma secondo l'effetto, che con esso si vuole produrre. Ora il filo di platino è piegato ad angolo acuto in modo da formare un affilato stiletto A, con cui si può cauterizzare uno stretto seno fistoloso, o la cavità d'un dente cariato. Ora è appianato e curvato in modo da figurare un'affilata lama di coltello H, e si adopra o col tagliare colla combustione, usandola di taglio, o per cauterizzare una piccola superficie, applicandola di piatto. Ora ha la forma di elica L, ed appellasi *cauterio olivare*. Si dà finalmente al filo di platino la forma di *laccio tagliente* od *ansa*, che tanto utilmente si adopra per fare tagli di grande estensione, ad esempio per recidere qualche membro, od estirpare un tumore. A tale scopo si deve avere un circuito cauterizzante, di cui a piacere si possa variare la lunghezza. Middeldorpff ha raggiunto l'intento colla seguente disposizione di cose. Le verghe metalliche che attraversano il manico *porta-cauterio* C (fig. 269) sono sormontate da due colonnette di rame, che si annettono in D: una lamina d'avorio frapposta alle due suddette colonne impedisce che la corrente passi da una colonna all'altra, e l'obbliga a circolare nel laccio B, il quale è formato di un filo di platino sottile e flessibile. Ciascuno dei capi di questo filo attraversa un'apertura praticata nella colonnetta metallica corrispondente, e si avvolge in un bariletto d'avorio A. Ognuno vede, che la corrente non passa per la parte del filo compresa tra l'estremo della colonnetta ed il bariletto, e che per ciò questa non si scalda. Avvolgendosi adunque più o meno il filo nei bariletti, si può diminuire a piacere la parte arroventata.

Cinta coll'ansa B la base del tumore da estirparsi, si fa passare la corrente, e con ciò si arroventa il cappio. Allora girando il bariletto A, si stringe l'ansa, ed il filo di platino taglia bruciando il tumore. Offrendo il circuito esterno pochissima resistenza al passaggio della corrente, dovrà farsi uso di una pila di pochi elementi, ma di grande superficie e disposti in batteria (426), ed in tal modo si otterrà una corrente molto energica e capace di produrre grandi effetti calorifici. Middeldorpff per la galvano-caustica adoprava gli elementi di Grove (396) modificati nella maniera seguente. In un vaso V, di cui la figura 270 rappresenta una sezione orizzontale, è immerso un cilindro cavo di zinco *z* che porta nella sua faccia interna sei bande verticali *z* del medesimo metallo e normali alla suddetta superficie; con che si aumenta la superficie, sulla quale agisce chimicamente l'acqua acidulata con acido solforico contenuta nel vaso V. È in questo ancora immerso un altro recipiente poroso D, che contiene acqua con acido nitrico, nel quale liquido pesca il platino destinato a raccogliere l'elettricità positiva. Tale collettore si compone di sei foglie di platino *p* riunite insieme in un loro lato longitudinale in modo da formare una stella di assai grande superficie. Quattro di queste coppie disposte a batteria formano la pila di Middeldorpff. Broca al medesimo scopo si è servito della pila di Grenet (399), la quale ha il vantaggio di non emanare i vapori di acido nitrico, a non far disperdere i quali è necessario negli elementi della pila precedente tener chiuso il vaso poroso con un otturatore di vetro (*).

La galvano-caustica-termica offre molti vantaggi sulla cauterizzazione effettuata cogli ordinarii cauteri. Difatti col descritto metodo è possibile bruciare e tagliare le parti profonde inaccessibili agli ordinari cauteri ed ai ferri taglienti: con esso si determinano esattamente i limiti dell'operazione; e la cauterizzazione si eseguisce con grande rapidità e facilità. Impiegata la galvano-caustica a recidere una parte del corpo, od un tumore impedisce l'emorragia, e come ha osservato Sédillot alleggerisce i dolori, che avvengono dopo l'operazione.

485. Esploratore elettrico di Trouvè. — Mentre i tessuti

(*) Il ch. Prof. Corradi con esito felicissimo ha usato in molti casi la galvano-caustica sì chimica, che termica. Per quest'ultima si è servito di una pila di sua invenzione, che può dirsi una modificazione di quella di Grenet, e che è formata di molte lastre di zinco e di carbone larghe 12 centimetri ed alte 30, in modo da costituire una superficie attiva di 4000 centimetri quadrati. Può questa pila con tutta facilità immergersi più o meno in un sottoposto recipiente, che contiene un bagno composto d'acido solforico di commercio 1000 — bicromato di potassa (rosso arancione e ben cristallizzato) 700 — acqua distillata 10000; e con ciò può ottenersi di graduare a piacere, anche durante l'operazione, il calore prodotto dalla pila: la qual cosa è di somma importanza. Invero, allorchè si diminuisce il circuito coll'abbreviare il filo formante l'ansa, se l'attività della pila rimanesse costante, l'ansa ristretta potrebbe tanto aumentare di temperatura, da fondersi. Ciò faceva dire a Regnault, non potersi applicare la galvano-caustica all'estirpazione di grossi tumori. Ma il Corradi ha ben potuto recider questi, facendo da un suo assistente gradatamente sollevare la pila dal liquido, mantenendo in tal modo inalterata la temperatura del platino rovente, quantunque notevolmente si venisse a diminuire la lunghezza del circuito.

animali, e le sostanze liquide dell'organismo hanno una debolissima conduttricità elettrica, sono di questa in sommo grado forniti i metalli. Favre ha pensato di trarre vantaggio da questa grande diversità di potere conduttivo, ponendo in uso una corrente elettrica per scoprire l'esistenza di un corpo metallico nei tessuti animali. Consiste il metodo di Favre nell'introdurre nella piaga, che si deve esplorare, due sottili specilli metallici isolati l'uno dall'altro ed attaccati ai reofori d'una pila. Fino a tanto che la comunicazione fra i due reofori non ha luogo se non per mezzo delle parti viventi, muscoli, tessuti cellulari, sangue, linfa ecc., la corrente, specialmente se è debole, non passa. Ma tosto che gli estremi degli specilli s'incontrano in un corpo metallico, il circuito si trova perfettamente chiuso, la corrente passa, e tal passaggio è indicato dalla deviazione dell'ago d'un galvanometro intercettato nel circuito. Il descritto metodo però è alquanto difettoso; imperocchè se si usa una corrente abbastanza energica da decomporre i liquidi organici, questi addivengono sufficientemente conduttori in modo da fare deviare l'ago galvanometrico, senza che vi sia di bisogno della presenza d'un corpo metallico: che se invece si adopri una corrente debole, questa farà così poco spostare l'ago ancora quando vi sia un oggetto metallico, che la deviazione può sfuggire all'occhio dell'operatore, specialmente nella confusione che regna in un'ambulanza da campo. Si aggiunga poi, che il galvanometro e la pila formano nell'insieme un apparato troppo voluminoso, e per ciò incomodo per un chirurgo d'armata. Molte successive modificazioni ha subìto l'apparecchio di Favre, onde togliere di mezzo gli accennati inconvenienti, e merita speciale menzione l'innovazione introdottavi da Kowacs di Pesth. Si sa che una corrente, anche così energica da decomporre un liquido, non trova in questo tanta conduttricità da sviluppare in un'elettro-calamita forza bastevole a mettere in movimento un tremolante di Neef (440) od una sonerìa elettrica. Kowacs su questo fatto ha basato il suo apparecchio, il quale si compone d'una pila a bisolfato di mercurio (398) e di una sonerìa elettrica costituita da un'elettro-calamita a ferro di cavallo, e da una campanella, sulla quale batte un martello congiunto al tremolante: tutti questi diversi pezzi si trovano collocati in una scatola tascabile. Una pinzetta, le cui branche isolate l'una dall'altra sono messe in comunicazione coi poli della pila, serve di sonda esploratrice. Allorchè un pezzo qualunque del proiettile metallico trovasi a contatto colle due branche della pinzetta, la corrente passa e mette in moto la sonerìa. Trouvé ha migliorato l'apparecchio di Kowacs, riducendolo a minori proporzioni. L'*esploratore elettrico* di Trouvé è così formato. Due spilloni di filo d'acciaio, ciascuno dei quali è vestito d'uno strato isolante di guttaperca, sono fissati nella sonda A (fig. 271), dall'estremo inferiore della quale sporgono le due punte acuminate, in cui terminano i detti fili. Queste punte sottilissime ed assai resistenti sono capaci di attraversare i pezzi di vestiario, che si fossero introdotti nella piaga, e lo strato di ossido, che può formarsi intorno al proiettile, in modo che giungono a contatto del metallo conduttore. La suddetta sonda è sormontata da una piccola scatola cilindrica B a facce di vetro e contenente

un'elettro-calamita di estrema piccolezza. Alle estremità d'un diametro della scatola vi sono due anelli C, C', ai quali si attaccano i reofori d'una piccola pila a bisolfato di mercurio. All'elettro-calamita sta congiunto un piccolo tremolante, il quale allorchè passa la corrente, col suo battere sull'elettro-magnete produce un ronzìo. Quando si vuole far uso di questo apparato, s'introduce nella piaga una cannula P munita della sua spina M; ed allorquando con essa cannula si giunge a toccare il corpo, che si sospetta essere un proiettile, si toglie la spina, e s'introduce nella cannula la sonda elettrica. Se le punte d'acciaio vanno a toccare un corpo metallico, ce ne farà avvertiti il ronzìo prodotto dal tremolante. Rimarrà dopo ciò il riconoscere la natura del metallo. Se questo sia piombo, la sonda esploratrice colle sue punte s'internerà nella massa metallica, e per ciò le vibrazioni del tremolante saranno continue e regolari, ma saranno invece irregolari ed intermittenti, se il metallo sia ferro o rame, perchè la durezza di questi impedisce alle punte d'internarsi; ond'esse facilmente scivolano sulla superficie metallica. Per distinguere il ferro od acciaio dal rame, si avvicina alla piaga una piccola e sensibilissima bussola a sospensione cardanica che Trouvé aggiunge al suo esploratore come parte complementare. Se l'ago magnetico prova una deviazione, saremo certi che il corpo introdotto nella piaga è ferro od acciaio. Che se il tremolante non si muove, il corpo estraneo non è conduttore, e per riconoscerne la natura, si toglie l'esploratore, e s'introduce nella piaga un sottile trivello, il quale col girare ne distacca delle particelle, che rimanendo incastrate nel passo della vite, si estraggono col trivello, e quindi se ne esamina la natura.

486. Splancnoscopio. — Hanno il nome di tubi di Geissler certi tubi di vetro, che contengono un vapore od un gas assai rarefatti. Essi possono avere una forma assai varia, e portano a ciascuna estremità un filo di platino saldato sul vetro, e sporgente sì nell'interno che nell'esterno. Poste le parti esterne dei detti fili in comunicazione con il rocchetto di Ruhmkorff (442), la scintilla passa da una punta all'altra, illuminando l'interno del tubo in tutta la sua lunghezza, ed il colore e splendore della luce variano con il grado del vuoto, colla natura del gas o vapore e colla dimensione del tubo, mostrandosi lo splendore massimo nelle parti più strette. La luce poi prodotta nei detti tubi ha due proprietà, cioè 1ª non forma un getto continuo ma *stratificato*, vale a dire costituito di una serie di zone o strie alternativamente brillanti ed oscure; 2ª non è accompagnata se non da debolissimo calore. Nel 1860 Fonsangrives pensò d'applicare i tubi di Geissler ad illuminare le cavità naturali del corpo umano. Più recentemente Milliot ha ripresi gli studi di Fonsangrives nello scopo d'illuminare i visceri profondi separati dall'esterno per mezzo d'una membrana traslucida. In tale condizione trovasi lo stomaco, perchè la mucosa, la quale forma le pareti di questo viscere, e la pelle dell'addome sono bastantemente trasparenti da permettere, che si vegga per trasparenza quest'organo, quando esso sia a sufficienza illuminato. Milliot introducendo nella cavità dello stomaco di un uomo o di un cane per mezzo della sonda esofagica un tubo di Geissler d'una particolare forma, e postolo in

comunicazione col rocchetto di Ruhmkorff, ha reso al di fuori visibile l'interno dello stomaco, formando così un apparato detto *splancnoscopio*.

487. Eccitamento dei nervi sensibili della pelle. — In molte malattie è obbligato il medico di eccitare o i nervi sensibili della pelle, ovvero i nervi profondi, od i muscoli. È stato Duchenne, che ha dato il metodo per ottenere un tale effetto. Egli ha osservato, che se si applichino due reofori asciutti in due punti vicini della pelle, secca anch'essa, si producono fra i due suddetti punti delle scintille, si sentono delle crepitazioni accompagnate da una sensazione di bruciore, e niente più. Ciò proviene da che, essendo l'epidermide un cattivo conduttore, indebolisce la scarica, la quale ha solamente luogo sulla superficie d'essa epidermide. Che se si pongano a contatto su due punti della pelle i due reofori, ma uno asciutto e l'altro bagnato, nelle parti vicine al reoforo umido avviene una leggiera sensazione limitata solamente alla cute senza scintille e crepitazioni, e la corrente elettrica attraversa la sola pelle. Finalmente se i due elettrodi ed anche la pelle sono bagnati, la corrente attraversa la pelle e si porta nelle parti sottoposte producendo fenomeni di contrazioni e di sensazioni più o meno vive, secondo che la corrente invade i muscoli, od i nervi, o le superficie ossee. In quest'ultimo caso il dolore è assai vivo, e perciò è raccomandato ai medici di non applicare i reofori sulle parti ossee. Ciò notato, diciamo, che quando si voglia portare l'azione elettrica sulla sola pelle, si può usare uno dei tre seguenti metodi suggeriti da Duchenne. Il primo dicesi elettrizzazione colla *mano elettrica*, e consiste nel prendere per un reoforo una spugna bagnata, e per l'altro una mano comunicante col filo, che parte dall'altro polo della pila; con questa mano si stropicciano le parti cutanee che si hanno da elettrizzare. Il secondo metodo, più energico del primo, si appella elettrizzazione *per placche metalliche*, nel quale due placche di metallo formano gli estremi dei reofori, e con queste si stropicciano le parti cutanee che si debbono assoggettare al passaggio dell'elettrico. Finalmente il metodo più energico è la *fustigazione elettrica*, in cui gli estremi dei due reofori sono costituiti da due pennelli formati di fili metallici. In questo caso avvengono sensazioni simili a quelle che si proverebbero, quando molti aghi venissero conficcati nei tessuti. Gli effetti fisiologici hanno maggiore intensità nei punti, dove sono applicati i reofori, e ciò per la ragione detta al n° 432.

488. Eccitamento dei muscoli. — Per produrre l'eccitamento dei muscoli bisogna condurre le correnti indotte nelle parti profonde sottocutanee, e quindi, come abbiamo detto, è necessario rendere l'epidermide più conduttrice, che sia possibile: inoltre fa d'uopo far passare le correnti per una sezione assai stretta, onde conservare una notevole intensità. Per soddisfare a queste condizioni si applica sopra al muscolo, che si vuole far contrarre, un reoforo costituito da un largo cilindro metallico contenente una spugna bagnata con una soluzione di sale marino, ed il quale comunichi col polo negativo della pila. A piccola distanza da questo si applica sulla pelle bagnata il reoforo positivo, il quale è pure formato da un cilindro, ma piccolo, guarnito di spugna imbevuta della detta

soluzione. La corrente penetra per la pelle umida sino al muscolo sottoposto, poi scorre per il tessuto di questo e ritorna all'altro reoforo. È sotto al piccolo cilindro, che l'elettricità, che forma la corrente, è più condensata, e perciò le parti del muscolo collocate sotto al detto reoforo sono quelle, che subiscono le contrazioni più energiche.

Allorchè si vuole eccitare un nervo, i reofori, i quali possono essere ambedue piccoli, debbonsi applicare in quelle parti del corpo, ove essi nervi trovansi vicini alla superficie.

Non appartenendo a noi di trattare dei numerosi casi, in cui si deve usare la corrente elettrica nelle cure mediche, ci basterà, come ad esempio, accennare l'uso della suddetta corrente nelle paralisi. Quando un membro sia paralizzato, i muscoli non obbediscono più all'ordine della volontà, e se si abbandonano questi organi a loro stessi, resterebbero per lungo tempo nell'inattività, e potrebbero subire la degenerazione adiposa: se dopo ciò la paralisi del nervo venisse a guarire, le fibre degenerate non potrebbero più obbedire al nervo. È per ciò utilissimo, durante la paralisi, il fare contrarre ogni giorno i muscoli della parte paralizzata per mezzo degli apparati d'induzione per impedire l'alterazione del tessuto.

489. Sacco elettrico. — In certe affezioni nervose, che si estendono a tutto il corpo umano, necessita qualche volta di fare passare la corrente elettrica per tutto il corpo, senza che essa sia localizzata in una data regione, piuttosto che in un'altra. Ciò si ottiene col fare indossare alla persona malata un *sacco elettrico*, che consiste in una specie di veste aderente a tutte le parti del corpo, formata d'un tessuto di lana e solcata da bande di tessuto metallico. Queste ultime portano dei bottoni metallici. Coi bottoni collocati dalla parte destra si fanno comunicare molti fili, che partono da un polo dell'apparato d'induzione, ed altrettanti fili, che provengono dall'altro polo, vanno a terminare nei bottoni posti dall'altra parte.

490. Applicazione delle correnti continue. — Le prime applicazioni dell'elettricità dinamica alla medicina si fecero colle correnti continue della pila: scoperte le correnti d'induzione, queste a quelle furono sostituite. Ora Remak in Alemagna, ed Hiffelsheim in Francia hanno di nuovo applicate le correnti continue alle cure mediche, usando pile a forza costante, come quelle di Daniell (395), o di Marié-Davy (398). Gli elementi debbono essere disposti in modo, che diano una tensione elettrica forte, e producano un lavoro chimico poco considerevole. Tale scopo si raggiunge coll'adoprare un gran numero di elementi, in ciascuno dei quali i fenomeni chimici siano poco intensi; imperocchè si è veduto (384), che il lavoro chimico esterno prodotto da una corrente è precisamente eguale a quello, che ha luogo in ciascun elemento. Non badandosi a ciò sul principio, e facendosi uso di pile che producevano fenomeni elettrolitici troppo energici, venivano a decomporsi i tessuti. Qui è bene notare, che sui muscoli, sui nervi e sulla circolazione ben diversamente agiscono le correnti continue e le indotte. Difatti quest'ultime ripetendosi continuamente e cambiando di direzione, fanno contrarre i muscoli durante tutto il tempo del loro passaggio (479), mentre nelle cor-

renti continue le contrazioni succedono solamente nella chiusura ed apertura del circuito (475). Applicate sui nervi isolati le correnti continue producono lo stato elettro-tonico, aumentando la corrente propria del nervo, o diminuendola (473). Finalmente le correnti d'induzione arrestano od almeno rallentano la circolazione, facendo contrarre le fibre muscolari dei vasi (137). Al contrario le correnti continue, secondo l'esperienza di Legros e di Onimus, aumentano la circolazione, e la ristabiliscono allorchè è arrestata, e possono ancora contribuire a ristabilire la respirazione sospesa per l'inspirazione del cloroformio.

Avvertenza. — Nel paragrafo 406 si è detto, che, distesa la figurina amperiana su di una voluta dell'elica colla faccia volta all'esterno ed in modo che la corrente le entri per i piedi ed esca per il capo, nella verga d'acciaio racchiusa nell'elica si forma il polo nord alla sinistra della figurina suddetta. Ciò è vero quando per il polo nord d'una calamita s'intenda quello, che si volge al sud dell'orizzonte (355). Ma se chiamisi polo nord quello che dirigesi al nord del mondo, deve dirsi, che il polo boreale si forma alla sinistra della figurina avente la faccia rivolta verso la verga. Quindi è che tal polo si troverà all'estremo della verga posto dalla parte per cui la corrente entra nel filo metallico, quando l'elica sia *sinistrorsum*, ed all'estremo, che è dalla parte da cui la corrente esce dall'elica, quando questa sia *dextrorsum*.

TERMOLOGIA

CAPO I.

DILATAZIONE DEI CORPI PEL CALORE

491. *Principali effetti del calorico* — 492. *Ipotesi sulla natura del medesimo* — 493. *Cenno sulla discussione relativa all'esistenza dell'etere* — 494. *Dilatazione dei corpi solidi* — 495. *Dilatazione dei liquidi* — 496. *Dilatazione dei gas.*

491. Principali effetti del calorico. — Accennammo nelle nozioni preliminari, che le molecole, le quali costituiscono i corpi, furono dal sapientissimo Autore della natura dotate d'una forza di attrazione, per la quale esse molecole tendono ad avvicinarsi sempre più. Siccome però tal forza aumenta tanto maggiormente, quanto più le molecole fra di loro s'avvicinano; tutti i corpi addiverrebbero oltre modo compatti, se le molecole non fossero pur dotate d'una forza ripulsiva, la quale dove più, dove meno vada ad indebolire la soverchia forza attrattiva. Tale forza attraente è dovuta al *calore*, colla quale parola si esprime la causa, che in noi produce la sensazione del caldo. Allorchè si scalda un corpo, cresce la forza ripulsiva tra le molecole, onde queste si discostano di più fra loro, ed il volume del corpo aumenta. Viceversa se un corpo si raffredda, decresce la forza ripulsiva, e le molecole, obbedendo all'attrazione molecolare, si avvicinano scambievolmente, e perciò diminuisce il volume del corpo. È adunque la dilatazione dei corpi uno dei principali effetti del calorico. Un secondo importantissimo effetto è il cambiamento di stato d'aggregazione, come altrove si è accennato (3). A bene intender ciò, richiamiamo alla memoria, che l'attrazione molecolare decresce assai coll'aumentarsi della distanza, la quale passa tra le molecole. Se pertanto queste in un corpo si trovino fra loro vicinissime, la scambievole attrazione sarà assai energica, ed esse così mutuamente aderiranno, da essere necessaria una notevole forza per separarle. Ora quello spazio intorno a ciascuna molecola, entro cui postane un'altra, questa aderisce alla prima, suole chiamarsi *sfera di coesione;* e quando le molecole d'un corpo si trovino a tale distanza, che ciascuna d'esse sia entro alla sfera di coesione delle vicine, il corpo è solido. Ma se le molecole siano un poco più discoste, di guisa che ciascuna trovisi nel limite della sfera di coesione delle vicine, sarà più debole

la forza attrattiva, e quindi le molecole potranno scorrere le une sulle altre, ed il corpo sarà liquido. Finalmente se sia anche maggiore la vicendevole distanza delle molecole, sicchè queste stiano totalmente fuori della sfera di coesione delle vicine, l'attrazione sarà del tutto vinta dalla forza ripulsiva, e le molecole tenderanno ad allontanarsi sempre più, ed il corpo sarà gasoso. Discende dal detto, che se un corpo solido venga sempre più a scaldarsi, le molecole si allontaneranno sempre più, ed in fine verranno a porsi nei limiti delle sfere di coesione delle circonvicine, ed allora il solido passerà allo stato di liquidità, e che, se il liquido seguiterà pure ad essere riscaldato, le molecole esciranno dalle sfere di coesione delle vicine, onde il liquido passerà allo stato gasoso. Per le medesime ragioni colla sottrazione di calore un gas potrà ridursi allo stato di liquido, ed un liquido allo stato di solidità! Conchiudiamo adunque, che un secondo effetto del calorico è il passaggio d'un corpo da uno stato d'aggregazione ad un altro.

492. Ipotesi sulla natura del calorico. — Ma che cosa è mai il calorico in se stesso? Per molto tempo è stata ammessa l'ipotesi *dell' emissione*, secondo la quale il calorico è un fluido sottilissimo, elasticissimo, velocissimo, imponderabile, che viene scagliato in tutte le direzioni da ciascuna parte d'un corpo, e da questa contemporaneamente assorbito. Tendendo tal fluido all'equilibrio, se si pongano a qualche distanza fra loro due corpi, i quali ne contengano in diversa quantità, il corpo più caldo ne raggerà in quantità maggiore, in minore il meno caldo; il calore emesso dal primo sarà in parte assorbito dal secondo, e quello emesso dal secondo sarà in parte assorbito dal primo: per il che il corpo, il quale era più caldo, farà più perdita di calore che acquisto, mentre l'altro ne farà maggiore acquisto che perdita; ovvero il primo farà più perdita che il secondo; dal che verrà che ambedue i corpi in fine si troveranno di avere un medesimo grado di calore.

A quest'ipotesi sostenuta da Newton se ne oppone un'altra detta *delle ondulazioni* data da Bacone di Verulamio ed abbracciata da Cavendish, Rumford, Fresnel, Arago e dalla massima parte dei moderni fisici. Secondo questa devesi ammettere l'esistenza d'un fluido imponderabile appellato *etere*, elasticissimo, sottilissimo in modo da penetrare nei corpi più compatti, e che riempie tutto lo spazio. Finchè l'etere sta in quiete, non produce alcun fenomeno calorifico e luminoso; ma genera tali fenomeni, allorchè è posto in rapidissima e sottilissima vibrazione. Nel corpo caldo non si deve ammettere se non un moto vibratorio delle sue molecole ponderabili e dell'etere racchiuso tra i suoi pori. Queste vibrazioni si comunicano allo strato d'etere, che avvolge il corpo, da questo primo strato passano ad un secondo, quindi ad un terzo, e così via via si propaga il calore in distanza. Dalla maggiore o minore ampiezza ed energia delle ondulazioni dipende la maggiore o minore intensità del calore. Se due corpi disugualmente caldi si pongano a qualche distanza tra loro, le ondulazioni più energiche provenienti dal corpo più caldo s'imbatteranno e mescoleranno colle più deboli, che hanno origine dall'altro corpo. Le prime verranno alquanto indebolite dalle seconde, e queste al contrario rimarranno un poco rinvigorite da

quelle, sicchè dopo qualche tempo, i due sistemi di vibrazioni saranno di eguale energia, e per conseguenza anche le particelle ponderabili dei due corpi, e l'etere in questi contenuto oscilleranno egualmente; il che è quanto dire, essere addivenuti i due corpi egualmente caldi.

493. Cenno della discussione relativa all'esistenza dell'etere. — Non avvi alcuno, che ai nostri giorni ammetta la teoria dell'emissione, poichè vi sono fatti, che noi in altro luogo riporteremo (624), i quali evidentemente dimostrano, i fenomeni caloriferi consistere in comunicazione di moto. Pure vi sono molti fisici moderni, che quantunque ritengano il calorico consistere in un moto, nondimeno, seguendo Fusinieri e Grove, non ammettono l'esistenza dell'etere, e sono d'opinione, che il calorico e la luce possano propagarsi semplicemente per mezzo della materia ponderabile. Ma osserva l'illustre P. Secchi, che per escludere l'etere deve ammettersi l'esistenza negli spazii planetarii o di materia ponderabile propriamente detta con tutti i suoi attributi, o d'una materia attenuata costituita d'atomi elementari (7). Nella prima supposizione si avrebbe un'atmosfera universale, la cui esistenza sarebbe ipotetica non meno di quella dell'etere, e che turberebbe le leggi della meccanica celeste; nella seconda si avrebbe una controversia più di nome, che di fatto; imperocchè questa materia attenuata si ridurrebbe ad etere. Siccome poi i fisici, che escludendo l'etere ammettono una materia attenuata, spiegano i fenomeni luminosi, attribuendoli ad emanazioni di tale materia attenuata fatte a periodi alternativi dai corpi; domanda il Secchi: è mai possibile che in tanti secoli, duranti i quali le dette emanazioni attraversano lo spazio, non siasi questo empiuto di tali monadi? Certo che no. La detta materia adunque ingombrerebbe lo spazio, e costituirebbe un mezzo fisicamente continuo, il quale non potrebbe rimanere inattivo nei movimenti, che in esso si compiono, ma dovrebbe partecipare delle vibrazioni dei corpi incandescenti: in una parola si avrebbe l'etere. La questione è ancora agitata, ed a noi basta di averla accennata, perchè è nostro ufficio di occuparci non tanto delle questioni teoriche, quanto delle pratiche applicazioni della fisica all'arte salutare. Ritenendo la teoria delle vibrazioni, faremo nondimeno uso d'espressioni, le quali sembrano meglio adattate alla teoria dell'emissione: così, ad esempio, parleremo di calorico, che *entra* od *esce* da un corpo, di calorico *repente* e *latente*; ma tali espressioni da noi s'adopreranno come *termini tecnici* consacrati dall'uso, riserbandoci di esporre il vero senso, in cui vanno prese, allorquando tratteremo della teoria dinamica del calore (624).

494. Dilatazione dei solidi. — Abbiamo poco fa detto, che uno dei principali effetti del calore è il dilatare i corpi. Per dimostrare ciò relativamente ai solidi, si suole usare il seguente apparato. Un estremo d'una sbarra di metallo AB (fig. 272) si fissa per mezzo d'una vite sopra un sostegno M. L'altro estremo B passa del tutto libero in un foro praticato nella parte superiore del sostegno N, e poggia nel braccio più corto d'una leva angolare, il cui braccio più lungo L scorre in un quadrante graduato, rotando intorno al punto fisso *o*. Sotto alla verga metallica si fa ardere

dell'alcool, onde la spranga dilatandosi si allunga. Siccome la verga metallica è fissa in A, il subìto allungamento procede tutto verso B e si rende manifesto collo spostamento dell'indice L. Il dilatarsi del volume d'un corpo, che si riscaldi, si può ancora dimostrare con quest'altro semplicissimo apparato dovuto a S'Gravesande: una palla di metallo sospesa ad una catena di ferro passa esattamente attraverso ad un anello formato dello stesso metallo della sfera, e che è tenuto fisso orizzontalmente. Si scaldi solamente la palla, e si vedrà che questa non può più passare per l'anello; ma se contemporaneamente si riscaldino la palla e l'anello, la prima seguiterà a passare per il secondo, dal quale ultimo fatto si deduce, che tanto si dilata una palla massiccia, quanto una cava.

495. Dilatazione dei liquidi. — Ad un pallone di vetro si saldi un tubo pur di vetro, e di piccolo diametro, e vi s'introduca un liquido colorato, che empia il pallone e parte del tubo. Notato il punto ove giunge il liquido, s'immerga il pallone nell'acqua calda: si vedrà, che nel primo istante la superficie di livello del liquido colorato alquanto s'abbassa, ma dipoi rapidamente, e di molto s'innalza. La ragione di ciò è, che nel primo istante dell'immersione il calorico si comunica al vetro, il quale dilatandosi fa crescere la capacità interna del globo, onde il liquido deve abbassarsi nel tubo. Riscaldandosi poscia anche il liquido, esso si dilata in modo da oltrepassare colla superficie di livello l'altezza di prima. Per il che si può conchiudere, che i liquidi si dilatano più dei solidi; la qual cosa avviene perchè nei primi il calorico trova meno ostacolo all'allontanamento delle molecole a motivo della debole loro vicendevole attrazione.

496. Dilatazione dei gas. — Potendosi dire estinta nei gas l'attrazione molecolare essi si debbono dilatare assai più dei liquidi per aumento di calorico. In un apparato del tutto simile al precedente s'introduce nel tubo tenuto orizzontalmente una piccola colonna di liquido, che farà l'officio d'indice, separando l'aria interna dall'esterna. Basta di appressare la mano al pallone perchè l'aria per il poco calore acquistato tanto si dilati, da discacciare l'indice dal tubo. Si può ancora operare in quest'altro modo. S'immerge la parte aperta del tubo in altro recipiente, che contenga un liquido colorato. Subito toccato il bulbo con una mano calda, l'aria si dilata e parte di essa attraversa il liquido del recipiente sotto forma di bolle e si disperde. Allontanata la mano dal bulbo, l'aria rimasta dentro di esso ben presto si raffredda e si restringe, ond'è che il liquido spinto dalla preponderante pressione dell'aria esterna in parte ascende nel tubo (166).

CAPO II.

TERMOMETRI

497. Temperatura. — Dicesi *temperatura* di un corpo lo stato attuale del calore sensibile nel corpo medesimo, e si suole chiamare o *alta* o *bassa*, secondo che il corpo toccato da noi ci fa provare una sensazione di caldo o di freddo. Siccome però noi proviamo caldo quando riceviamo più calórico di prima, o meno di prima ne perdiamo, e sentiamo freddo allorchè ne riceviamo meno del solito, o ne perdiamo più del consueto; così il medesimo stato calorifico di un corpo può far provare a noi la sensazione ora di caldo ora di freddo; vale a dire la stessa temperatura può chiamarsi ora alta ora bassa. Difatti quantunque sia costante ed invariabile la temperatura di un sotterraneo, pure vi proviamo caldo nell'inverno, freddo nell'estate: toccando contemporaneamente un corpo metallico tiepido con una mano previamente riscaldata al fuoco e coll'altra precedentemente immersa nella neve, quel corpo ci farà provare una sensazione di freddo nella prima, di caldo nella seconda. Coi sensi adunque non possiamo misurare la temperatura di un corpo, ma dobbiamo servirci di adattati istrumenti, che appellansi *termometri*, e che sono basati sulla dilatazione prodotta dal calorico nei corpi. È il termometro un istrumento di somma utilità per il medico, e per ciò di questo intendiamo parlare diffusamenete nel presente capitolo.

498. Primi termometri. — Quantunque molti attribuiscano la prima invenzione del termometro all'Olandese Drebel, pure è provato con documenti irrefragabili, questa doversi a Galileo, che lo costruì verso il fine del secolo XVI. Pose egli entro ad un vaso un liquido colorato, e diradata col riscaldamento l'aria contenuta in un tubo cilindrico aperto in un estremo e terminante nell'altro con un bulbo, immerse la parte aperta di questo nel liquido suddetto, il quale, raffreddandosi l'aria interna del bulbo, ascendeva alquanto nel tubo. Allorquando, variando la temperatura esterna, l'aria interna si dilatava o si restringeva, la colonna liquida interna o si abbassava o si innalzava di più; manifestando aumento di temperatura nel primo caso, decremento nel secondo. Imperfetto però era questo istrumento per due ragioni: cioè 1ª non aveva una scala fissa ben determinata; 2ª la discesa ed ascesa del liquido potevano succedere indipendentemente dalla variazione di temperatura per il variare della pressione dell'atmosfera (177).

Nel secolo XVII gli accademici del Cimento di Firenze corressero perfettamente il secondo difetto, dando altra forma al termometro. Presero un tubo di vetro di piccolo diametro, che terminava con un bulbo. Posto entro a questo un liquido colorato, che giungeva fino ad una certa altezza nel tubo, chiusero esso tubo ermeticamente dopo averne discacciata l'aria. Crescendo la temperatura, il liquido veniva a dilatarsi assai più del vetro (495) e per ciò ascendeva nel tubo la sua superficie di livello, la quale al contrario si abbassava, allorchè succedeva un decremento della temperatura. Si studiarono ancora gli accademici di dotare il loro termometro di una scala esatta, ed a tale scopo davano al bulbo ed al vano del cannello tale rapporto di grandezza, che empiuti di liquido fino ad una data altezza, il semplice freddo della neve e del ghiaccio non bastasse ad abbassarne la superficie di livello sotto i 20° e per il contrario la massima attività dei raggi solari eziandio nel cuore dell'estate non avesse forza di portarla sopra gli 80°. Come chiaro si vede questa scala non aveva estremi fissi determinati da temperature ben note e costanti.

Eschinardi nel 1670 propose un limite fisso per la scala, e tale punto è quello a cui giunge la colonna liquida entro al tubo, allorchè il bulbo è immerso nel ghiaccio che si fonde. Un secondo limite fu dato nel 1690 da Carlo Renaldini, ed è il punto a cui si eleva la sommità della colonna liquida quando il globo del termometro si trova immerso nell'acqua bollente. Questo valente fisico costruì il primo termometro ben graduato, segnando zero nel punto dove giunge il liquido, che era mercurio, allorchè l'apparato trovasi immerso nel ghiaccio, che si fonde, e 12 all'altezza corrispondente alla superficie di livello del mercurio, quando il termometro è immerso nell'acqua bollente: divise poi in 12 parti eguali l'intervallo frapposto a questi due punti.

Dopo Renaldini un altro termometro fu costrutto da Newton. Scelse questi per liquido termoscopico l'olio di lino e dette alla scala due punti fissi, l'uno dei quali era la temperatura della neve, che si liquefà, il qual punto indicava con zero, l'altro la temperatura del corpo umano, che notava con 12, dividendo lo spazio interposto in 12 parti eguali. Seguitava poi a segnare altri gradi della medesima ampiezza dei precedenti sopra il punto in cui avea segnato 12. La temperatura dell'acqua bollente in questa scala corrisponde a 34°.

499. Termometri odierni. Le graduazioni di Renaldini e di Newton non furono abbracciate. Più fortunato di loro fu Fahrenheit di Danzica, il cui termometro è ancora in uso presso gli Inglesi. Pose egli nel tubo di cristallo invece dell'olio di lino, che imbrattava le pareti di vetro, il mercurio. Immerse poi l'apparecchio in un miscuglio di neve e di idroclorato d'ammoniaca, ed ottenne un freddo assai intenso; e dove allora corrispondeva la superficie del livello del mercurio segnò zero. Quindi immerse il termometro nell'acqua bollente, e dove giunse la colonna mercuriale segnò 212, dividendo lo spazio compreso da questi due limiti in 212 gradi. In questo termometro la temperatura del gelo che si fonde corrisponde a 32°.

A Réaumur non piacque la scala di Fahrenheit; onde avendo so-

stituito l'alcool al mercurio, segnò 0° dove giunge il liquido nel termometro immerso nel gelo prossimo alla fusione, ed 80° all'altezza della colonna liquida esposta all'acqua bollente, perchè vide, che se il volume dell'alcool alla temperatura del gelo è 1000, a quella dell'acqua bollente addiviene 1080; divise poi la scala in 80 gradi eguali. Ma De Luc si avvide, che l'alcool non si dilata egualmente per eguali aumenti di temperatura, e per ciò sostituì all'alcool il mercurio, che dentro ai limiti della scala termometrica non presenta un tale inconveniente. Ritenne egli la scala di Réamur; onde a questo termometro che segue a chiamarsi di Réaumur, dassi ancora il nome di *ottantigrado*.

A Celsius piacque meglio di segnar 100 dove giunge il liquido termometrico esposto alla temperatura dell'acqua bollente, e di dividere la scala in 100 gradi per uniformarsi al sistema decimale. Di questo termometro detto di Celsius o *centigrado* fanno uso i Francesi, gli Italiani e la maggior parte delle altre nazioni. Ma presso i Russi si adopra pure il termometro di De-Lisle, che divise la scala in 150 parti, segnando zero al punto di ebollizione dell'acqua e 150 al punto della fusione del ghiaccio.

I gradi sopra allo zero sono notati col segno +, e col segno — i gradi inferiori allo zero, le lettere F, R, C, che seguono i gradi indicano, questi corrispondere alle scale o di Fahrenheit, o di Réaumur o di Celsius (*)

500. Costruzione d'un esatto termometro. — È cosa utile conoscere quali cautele debbansi usare nella costruzione di un termometro, perchè questo riesca esatto. Tali cautele riguardano: 1° la scelta del tubo; 2° la formazione del bulbo; 3° la scelta del liquido termoscopico; 4° l'introduzione di questo nel tubo; 5° la chiusura del cannello; 6° la determinazione dei punti fissi della scala; 7° la graduazione.

1° *Scelta del tubo*. Vedremo da qui a poco, che fissati in un termometro i punti corrispondenti alle temperature della congelazione e dell'ebollizione dell'acqua, si divide lo spazio frapposto in tanti gradi eguali. Perchè pertanto il termometro sia esatto è necessario che le capacità del cannello tra grado e grado siano tutte eguali fra loro, il che si verificherà quando il tubo in tutta la sua

(*) Leggendo le opere inglesi di fisica, chimica, e medicina, ricade spessissimo il caso di dover sapere a quanti gradi del termometro centigrado corrisponda un numero t di gradi del termometro di Fahrenheit.

A tale oggetto si rifletta, che in quest'ultimo apparato tra le temperature del gelo che si fonde e dell'acqua bollente vi sono 180°, e che per ciò tra le divisioni della scala di esso e quelle della scala centigrada vi è il rapporto 180 : 100, ossia 9 : 5. Per riportare poi i gradi t al nostro zero, dovremo togliere 32° a t, perchè lo zero di Fahrenheit, relativamente al quale i gradi t sono computati, trovasi 32° sotto al nostro. Quindi sarà manifesto, che indicandosi con x i gradi centesimali corrispondenti a t, avrà luogo la proporzione

$$9 : 5 = t - 32 : x; \text{ dalla quale si ricava } x = (t - 32)\frac{5}{9}.$$

Che se si volesse sapere, a quanti gradi x del centigrado corrispondano i gradi t del termometro ottantigrado, si dovrà fare

$$80 : 100 = t : x, \text{ ossia } 4 : 5 = t : x, \text{ e per ciò } x = \frac{t \times 5}{4}.$$

estensione sia sempre di egual diametro. Per vedere se un cannello sia tale s'introduce in esso tanto mercurio da formare una colonnetta lunga circa due centimetri, che si misura con un compasso. Soffiando in un estremo del tubo, si fa scorrere la colonnetta per tutta la lunghezza di esso, facendola sempre accompagnare dal compasso. Se la lunghezza della detta colonna si mantiene sempre costante, il tubo è ben calibrato, ma se quella in qualche tratto si abbrevia, o si allunga, ivi ha luogo un rigonfiamento od un ristringimento. Scelto un tubo ben calibrato, il quale sia in pari tempo limpido e scevro di bolle, è bene pulirlo internamente, il che si fa coll'introdurci acido nitrico puro e riconcentrato, e quindi scaldarlo; colla quale operazione le tenuissime sostanze in polvere e le materie grasse sono distrutte. S' introduce poi a parecchie riprese nel tubo acqua distillata, e si riscalda di nuovo.

2° *Formazione del bulbo.* Per formare il bulbo si appressa un estremo del cannello alla fiamma della lampada ferruminatoria in modo, che esso estremo si ammollisca. Allora si soffia per l'altra estremità, e tosto la parte ammollita si trasmuta in una sfera cava. Se il termometro si voglia molto sensibile, invece di formare il serbatoio sferico, è bene di dargli la forma cilindrica, perchè il cilindro ha più estesa superficie d'una sfera di egual volume, e per ciò prima in un recipiente cilindrico che in uno sferico la massa mercuriale prende la temperatura del corpo, a cui si pone in contatto.

3° *Scelta del liquido termoscopico.* Il liquido che più comunemente si usa per i termometri è il mercurio per la sua proprietà di dilatarsi egualmente entro ai limiti della scala termometrica per eguali aumenti di temperatura. Il mercurio però, che si trova in commercio, non è mai puro, ond'è necessario di purificarlo. Si separa dai metalli, con cui è amalgamato, distillandolo in lambicco di vetro, o pure lavandolo con acido solforico a freddo. Gli si tolgono tutte le materie, le quali sono natanti o semplicemente aderenti nell'interno della sua massa, filtrandolo attraverso d'una pelle, e finalmente si libera dall'umidità, che può contenere, scaldandolo in un vaso, agitandone in pari tempo la massa con una bacchetta di vetro.

4° *Introduzione del liquido nel tubo.* Per introdurre il liquido nel recipiente termometrico, si scalda assai quest'ultimo, affinchè l'aria in esso contenuta, diradandosi, in gran parte esca fuori; dopo di che capovolto il tubo, s'immerge la parte aperta in un recipiente, nel quale è contenuto il mercurio. Al raffreddarsi dell'aria interna una parte del mercurio spinto dalla preponderante pressione atmosferica penetra nel tubo e nel serbatoio. La quantità introdotta deve esser tale, che nei massimi freddi non si ristringa tutta nel bulbo, e nelle alte temperature, alle quali il termometro può essere esposto, non empia completamente l'istrumento. Per vedere pertanto se veramente è quale deve essere la quantità di mercurio introdotta, si nota nel cannello, il punto, ove giunge la superficie di livello all'attuale temperatura, si riscalda dipoi per altri 10 gradi, e si nota di quanto si eleva la colonna liquida per questo aumento; dopo di che sarà facile conoscere dove giungerà la superficie di livello per un aumento o decremento di altri 10, 20, 30.... gradi di calore.

5° *Chiusura del tubo.* Prima di chiudere il tubo è necessario, discacciarne completamente l'aria. Per ottener ciò si scalda il serbatoio alla fiamma di una lampada a spirito, sicchè il mercurio dilatandosi vada ad empire perfettamente tutto il cannello. Nel medesimo tempo si tiene esposto l'altro estremo di questo alla fiamma della lampada ferruminatoria, onde si scaldi fino alla temperatura prossima alla fusione del vetro. Allora con una pinzetta si stringe l'estremo così ammollito, ed il tubo rimane ermeticamente chiuso. Il mercurio raffreddandosi si dispone all'altezza corrispondente alla temperatura dell'aria ambiente, e lascia lo spazio superiore completamente vuoto d'aria.

6° *Determinazione dei punti fissi della scala.* È questa una delle operazioni più importanti per la costruzione di un buon termometro. Il limite inferiore della scala è, come si è notato, l'altezza a cui giunge la colonna liquida, allorchè è immerso il termometro nella neve o gelo, che si liquefanno. Per fissare pertanto questo limite, si pone il ghiaccio triturato o meglio la neve in un recipiente, il quale per qualche foro praticato nel suo fondo lasci scolare l'acqua prodotta nella fusione. S'immerge nel vaso il termometro, badando che la neve od il ghiaccio minutamente triturato sia in contatto in tutti i punti colla parte del termometro contenente il mercurio. Quando la colonna liquida non si abbassa più, si nota con un filo incerato il punto dove precisamente giunge la sua sommità.

Più delicata è l'operazione relativa alla determinazione dell'altro limite. Si è sperimentato, che invece d'immergere il termometro nell'acqua bollente è meglio immergerlo nel vapore, che sorge da quella, perchè il vapore ha una temperatura più costante di quella dell'acqua bollente stessa. In un recipiente metallico cilindrico e molto profondo si versa acqua pura in quantità non molto grande, cosicchè ne occupi la sola parte inferiore. Il coperchio del vaso porta annesso un tubo di diametro poco minore di quello del vaso stesso, onde questo recipiente viene ad essere nella parte superiore a doppie pareti. Il suddetto coperchio ha dei fori, per i quali escono al difuori le aste dei termometri, le cui parti occupate dal mercurio trovansi dentro al vaso, senza però pescare nell'acqua. Fatta bollire questa per mezzo d'una lampada a spirito, il vapore andrà ad occupare tutta la parte superiore del recipiente, e s'internerà anche nello spazio intercettato dalle pareti del vaso e del tubo annesso al coperchio, il quale strato di vapore impedisce che la temperatura esterna raffreddi il vapore, che circonda i termometri, e che poi si disperde per un tubo laterale. Via via che le colonne mercuriali ascendono, s'immergono i termometri di più nel recipiente, affinchè tutta la massa mercuriale sia circondata dal vapore, e quando il mercurio più non ascende, si segna con un filo incerato il punto, ove giunge la superficie di livello in ciascun termometro. Per le cose, che ora diremo, è necessario di notare la pressione atmosferica, che ha luogo nell'atto dell'operazione.

7° *Graduazione.* Avendo determinati nel modo suddetto i due punti fissi della scala, si passa alla graduazione. Si segna zero ove corrisponde il limite inferiore, e se la pressione dell'atmosfera, al-

lorchè si è determinato il limite superiore, era di 760 millimetri, si segna 100 dove corrisponde questo limite superiore, e dividesi lo spazio frapposto in 100 parti eguali. Che se quando si faceva bollire l'acqua, la pressione atmosferica non era di mm. 760, non dovremo segnare 100 nel limite superiore, perchè, come si vedrà in appresso (537), quanto maggiore o minore è la detta pressione, tanto più o meno alta è la temperatura, in cui bolle l'acqua. Si dovrà quindi ai 100° aggiungere o togliere un grado per ogni 27 millimetri, di cui eccede o difetti l'altezza barometrica relativamente alla pressione di mm. 760.

501. Spostamento dello zero. — Si accorse il prof. Bellani, che un termometro, quantunque sia costruito con tutta diligenza nel modo sovraesposto, se viene collocato parecchi mesi dopo la sua fabbricazione nel ghiaccio che si fonde, il liquido non discende fino allo zero, ma si arresta un poco sopra, potendo la differenza arrivare anche a due gradi. A tale fenomeno dassi il nome di *spostamento dello zero*, e la causa del medesimo secondo il Bellani è la seguente. Nella costruzione del termometro più volte, come si è veduto, è stato necessario riscaldare il tubo e specialmente la parte, in cui si è formato il serbatoio, fino a ridurre il vetro allo stato prossimo alla fusione. Il vetro ha incominciato subito a raffreddarsi, ma prima nelle parti superficiali esterne, poi nelle interiori, cosicchè mentre le prime erano già rassodate, ancora non lo erano queste, le quali, trovandosi a quelle congiunte, non poterono accostarsi fra loro quanto era richiesto dalla temperatura, a cui successivamente si portavano. Quindi è che esse parti interne vanno stentatamente ripigliando la normale posizione. Il serbatoio va adunque poco a poco ristringendosi, e non giunge ad avere la capacità normale se non dopo alcuni mesi, e da ciò nasce lo spostamento dello zero. Ad evitare questo inconveniente consiglia il Bellani di non fissare i limiti, e graduare il termometro, se non dopo un anno da che è stato chiuso il tubo. Il Majocchi asserisce, che non si ha pure lo spostamento dello zero, se dopo di aver chiuso il tubo, si sottoponga il termometro, prima di graduarlo, ad una temperatura artificiale di 19 o 20 gradi sotto allo zero, lasciandovelo per qualche tempo. Chi acquista un termometro per uso medico lo deve immergere nella neve, che si liquefà, per vedere se il liquido si abbassa fino allo zero; il che non succedendo, dovrà ben notare quanto sia lo spostamento per tenerne conto nelle singole osservazioni.

502. Ampiezza dei gradi. — L'ampiezza dei gradi d'un termometro dipende dal rapporto, che passa, tra la capacità del serbatoio ed il diametro del tubo, in modo che tanto più ampli sono i gradi, quanto più grande è il serbatoio e più sottile il cannello. Se adunque si vogliano costruire termometri, i cui gradi siano di tal lunghezza da poterci anche segnare i loro decimi, come debbono esser quelli destinati ad uso medico, si potrà raggiungere lo scopo in due modi, cioè o col far grande il serbatoio, o col servirsi d'un tubo di piccolissimo diametro. Se però si fa grande il serbatoio, s'incontra un grave inconveniente, ed è che il termometro stenta assai ad uniformarsi alla temperatura, che si vuole

misurare, dovendo questa uniformità estendersi a tutta la massa del liquido termometrico. Perchè adunque il termometro sia sensibile ed abbia gradi abbastanza lunghi deve avere piccolo il serbatoio e sottilissimo il tubo.

503. Termometro differenziale. — Per misurare la differenza di temperatura di due corpi Leslie ha costruito un apparato, che appellasi *termometro differenziale*, il quale consiste (fig. 273) in un tubo di vetro piegato ad angolo retto in C e D e terminante in due bulbi A, B. Vi si pone dentro dell'acido solforico colorato, che vada ad empire la parte orizzontale e porzione dei rami verticali, trovandosi nella parte superiore di questi ultimi e nei due globi aria atmosferica. Si coprono le due palle di ghiaccio vicino a fondersi, ed in una tavoletta annessa ad uno dei bracci verticali A C segnasi zero dove corrisponde la superficie di livello del liquido. Quindi facendo rimanere coperto di gelo B, si porta il bulbo A alla temperatura di 10° C, onde dilatandosi l'aria in A racchiusa, e ristringendosi quella posta in B, il liquido discenderà nel ramo A C, e nella tavoletta di fronte alla nuova posizione della superficie di livello in esso ramo si segna 100, dividendosi poi la scala in 100 parti eguali. Dopo ciò si copre A di gelo, e si scalda B fino a 10° C. Ascenderà allora il liquido nel ramo A C, e dove arriva la superficie di livello segnasi pure 100, e dividesi la distanza di quest'ultimo punto dallo zero in altre 100 parti eguali. Se ambedue le palle dell'apparato siano esposte ad un'eguale temperatura, dilatandosi egualmente le due masse eguali d'aria in esse racchiuse, il liquido si troverà egualmente premuto da ambedue le parti, e per ciò sarà ad una medesima altezza in tutti due i rami, e l'istrumento segnerà zero. Ma se i due globi vengano disugualmente riscaldati, il liquido coll'ascendere o discendere nel braccio graduato ci farà conoscere la differenza di temperatura dei due globi. Si avverta poi, che corrispondendo 100° del presente termometro a 10° del centigrado, un grado del primo corrisponde ad $\frac{1}{10}$ di grado del secondo. Poco da questo diversifica il *termoscopio di Rumford*, nel quale la parte orizzontale del tubo è assai più lunga di quella del primo, ed invece di contenere una notevole quantità di liquido colorato ne contiene una sola gocciola, la quale, allorchè trovansi i due globi ad una medesima temperatura, occupa il punto di mezzo del tubo orizzontale a cui s'annette la tavoletta, che porta la duplice scala. Si gradua l'apparecchio nel modo identico al precedente.

504. Termometri a massima e minima. — Interessa spesso di conoscere la massima e minima temperatura, che hanno avuto luogo durante un determinato tempo. A tal uopo furono ideati termometri, i quali lasciano un segno al punto della più alta temperatura, ed un altro in quello della più bassa, che sono avvenute in quel dato tempo. Bellani ne costruì uno della seguente forma. AB D C (fig. 274) è un tubo di cristallo di diametro alquanto più grande di quello dei termometri ordinarii, e che nei punti D, B si piega ad angoli retti in modo che i rami A B, D C siano paralleli fra di loro, ed alquanto inclinati all'orizzonte. Termina il tubo in un estremo col bulbo A, e nell'altro col bulbo C più piccolo del primo,

Da *e* fino ad *f* il tubo contiene mercurio, e nel resto del cannello trovasi pure alcool, che non deve però empire perfettamente il bulbo C. Alle due superficie *e* ed *f* del mercurio sono a contatto due cilindretti neri o di vetro o di smalto, il cui diametro è minore di quello del tubo. Se cresce la temperatura dell'ambiente, si dilata l'alcool racchiuso in A, ed esso spinge il mercurio, la cui superficie di livello inferiore s'avanza verso B, e la superiore verso C. Avverrà il contrario, se per un abbassamento di temperatura l'alcool collocato in A venga a ristringersi. Come vedesi nella figura, le due superficie del mercurio indicano i gradi di calore in una duplice scala, le cui graduazioni si fanno con confrontare l'attuale apparecchio con altro termometro campione. Quando si voglia far uso di questo termometro a massima e minima, s'incomincia dall'inclinare l'istrumento, sicchè i due piccoli cilindri neri si abbiano a mettere in contatto colle superficie della colonna mercuriale, e quindi si espone all'aria in posizione inclinata all'orizzonte, come indica la figura. Aumentandosi la temperatura dell'aria, si dilata, come dicemmo, l'alcool imprigionato nel bulbo A, e spinge il mercurio, ma non già il cilindro *e*, il quale essendo di diametro più piccolo di quello del tubo, non impedisce il passaggio dell'alcool, e perciò rimane al posto primiero, mentre il cilindro *f* è spinto verso C dal mercurio che in quella direzione s'avanza. Al contrario abbassandosi la temperatura, si ristringe l'alcool in A, ed il mercurio nel ramo superiore discende, ed ascende nell'inferiore verso A: il cilindro *f* rimane nel punto, in cui prima era giunto, e se la temperatura diviene più fredda di quella, che aveva luogo al principio dell'esperienza, il mercurio spinge di più il cilindro *e* verso A. Adunque la massima temperatura è indicata dal cilindro *f*, e da *e* la minima. Fatta l'osservazione, con un piccolo urto dato all'istrumento, o coll'inclinar questo alquanto, si fanno ricadere i due cilindri a contatto del mercurio.

Assai più usato del precedente è il termometro a massima e minima di Rutherford. Sopra una lastra rettangolare M (fig. 275) sono fermati due termometri, i cui tubi piegati ad angolo retto stanno in posizione orizzontale, ed in direzioni opposte, come apparisce dalla figura. Il termometro superiore A è a mercurio, l'altro B è ad alcool. Nel primo evvi un piccolo cilindro *m* di ferro, che può scorrere liberamente nel tubo. Questo piccolo cilindro, che serve da indice, messo a contatto colla superficie del mercurio, e posto l'istrumento orizzontalmente, viene spinto innanzi dal liquido, allorchè la temperatura si eleva, ma non è ricondotto indietro, quando il liquido si ristringe per l'abbassarsi della temperatura, perchè non vi è aderenza tra mercurio e ferro: per la qual cosa il cilindro suddetto indica la temperatura massima. Nell'alcool del termometro B è totalmente immerso un cilindretto di smalto *n*. Se la temperatura si abbassa mentre esso cilindro si trova vicino alla superficie di livello dell'alcool, questo lo strascina seco nel restringersi per un effetto d'adesione, e per ciò l'indice si avanza fino al punto, a cui giunge la colonna alcoolica nella sua massima contrazione. Quando la temperatura si eleva, l'alcool dilatandosi passa tra le pareti del tubo e l'indice, senza che questo si sposti, e per conseguenza esso

cilindro *n* indica la temperatura minima. Abbassandosi la parte M dell'apparato, gl'indici pel proprio peso verranno a riportarsi alla superficie delle due colonne liquide.

505. Termometrografo del Semola. — Si fa oggi grande uso dei *termometrografi*, di termometri, cioè, che segnano la temperatura, la quale ha avuto luogo in tutto un giorno. Mi limiterò ad esporre il principio, sul quale è fondato quello ideato dal professore Semola. Si abbiano molte canne vuote di zinco C A, D B, E F... (fig. 276) aventi dei fori laterali, perchè vi possa entro giuocare l'aria. La prima di queste sia fissa in C, e l'altro suo estremo sia congiunto a snodatura all'estremo A d'una leva di primo genere AB a braccia eguali: le altre canne BD, EF... sono pure congiunte a snodatura coi bracci delle leve di primo genere AB, DE, FG... pure a braccia eguali. È ben chiaro, che aumentandosi la temperatura le canne si allungano, s'inclinano le leve, e quindi la matita *i* s'innalza in modo che il suo spostamento è eguale alla somma degli allungamenti di tutte le canne. Il contrario avverrà per un abbassamento di temperatura. La matita *i* lascia traccia su d'un foglio di carta, che ogni giorno si rinnova, e che copre la superficie laterale del cilindro verticale M, il quale mosso da un orologio compie un giro intorno al proprio asse in 24 ore. Il detto foglio ha 24 righe verticali corrispondenti alle 24 ore della giornata, e molte righe orizzontali esprimenti i gradi della scala termometrica. I gradi, per i quali passa la curva delineata sul foglio dalla matita *i*, indicano le temperature, che hanno avuto luogo nelle ore relative.

506. Pirometro di Wedgwood. — Tutti gli istrumenti fin qui descritti servono a misurare le ordinarie temperature. Per avere la misura di quelle eccessivamente alte, ad esempio, delle fornaci, s'adoprano i *pirometri*, i quali sono di diversa forma. Ci limiteremo a descrivere il pirometro ideato da Wedgwood, che è basato sulla proprietà dell'argilla di restringersi per aumento di temperatura, della qual proprietà si parlerà in appresso (513). Il detto pirometro consiste in due verghe d'ottone, ciascuna lunga 30 centimetri, fissate in una lastra di marmo, ed inclinate fra di loro in modo, che l'apertura maggiore sia più ampia della minore per tre millimetri. Si abbiano molti cilindretti di argilla bianca e purificatissima, il cui diametro alla temperatura ordinaria sia eguale alla distanza maggiore, che passa tra i due regoli d'ottone. Si ponga uno di questi sopra al rosso oscuro d'un ferro arroventato, la cui temperatura si sa essere di 500° C. Quando esso cilindro ha preso la temperatura del ferro, si pone tra le due sbarre in maniera che il suo asse sia nella direzione verso cui le verghe convergono, e si fa scorrere finchè la distanza fra i regoli, essendo eguale al diametro del cilindro riscaldato, non permette, che questo possa più oltre procedere. In questo punto si segna zero. Si mette poi del ferro entro ad un crogiuolo, in cui si colloca ancora il cilindro d'argilla, e si fa il tutto riscaldare fino a 572°. L'argilla si ristringe di più, onde è che, collocato di nuovo il cilindro fra le due sbarre, s'interna di più fra di esse. Dove giunge il cilindro si segna 1°; quindi si segnano altri gradi fino a 240 ad eguali distanze. Quando si vuole usare di questo apparecchio per conoscere la temperatura

d'una fornace, si getta in questa uno dei cilindri d'argilla, e dopo qualche tempo si estrae, si colloca fra le due sbarre, e si legge il grado, a cui giunge. I gradi del pirometro indicati dal cilindro si moltiplicano per 72, ed al prodotto si aggiungono 500 gradi, e l'aggregato verrà ad esprimere in gradi centesimali la cercata temperatura della fornace.

CAPO III.

COEFFICIENTI DI DILATAZIONE

507. *Coefficiente di dilatazione lineare dei solidi* — 508. *Coefficiente di dilatazione superficiale* — 509. *Coefficiente di dilatazione cubica* — 510. *Problemi relativi ai volumi* — 511. *Misura dei coefficienti di dilatazione dei solidi* — 512. *Coefficienti d'alcuni solidi* — 513 *Anomalie presentate da alcuni solidi nella dilatazione* — 514. *Forza con cui i corpi solidi scaldati si dilatano* — 515. *Coefficiente di dilatazione dei liquidi* — 516. *Riduzione dell'altezza della colonna barometrica a zero gradi* — 517. *Anomalia presentata dall' acqua* — 518. *Metodo di Gay-Lussac per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas* — 519. *Metodo di Regnault* — 520. *Apparecchio per regolare la temperatura d'un bagno.*

507. Coefficiente di dilatazione lineare dei solidi. — Nel capo primo abbiamo parlato in generale della dilatazione dei corpi prodotti dal calorico; nel presente parleremo in particolare della dilatazione dei solidi, dei liquidi e dei gas. Incominciamo dai solidi. Si chiama *coefficiente di dilatazioue lineare* l'allungamento, che l' unità di lunghezza di un dato solido subisce per l'aumento di temperatura di un grado. Tale coefficiente è, come vedremo, diverso per i diversi solidi, ma può considerarsi come costante in una medesima sostanza. Conosciuto pertanto il coefficiente di dilatazione lineare di un dato corpo, con tutta facilità si può conoscere la lunghezza di esso alla temperatura t quando conoscasi quella, che ha alla temperatura zero. Difatti sia l la lunghezza del corpo a zero gradi, l' quella che avrà alla temperatura t e k il suo coefficiente di dilatazione lineare. Se l'allungamento per ogni grado di aumento di temperatura e per ogni unità di lunghezza è k, l'allungamento subìto da l unità e per un aumento di gradi t sarà lkt. Adunque la lunghezza del corpo alla temperatura t, dovendo essere eguale a quella, che aveva a zero gradi, più l'aumento subìto, verrà ad essere espressa dalla formola

$$l' = l + klt \ldots (a), \text{ ossia da } l' = l\,(1 + kt) \ldots (b)$$

Se fosse nota l' ed incognita l, cioè se si sapesse la lunghezza del corpo a t gradi, e si volesse determinare quella che avrebbe a gradi zero, basterebbe isolare l nella (b), e si avrebbe

$$l = \frac{l'}{1+kt} \ldots (c).$$

Quando poi fossero note le lunghezze l, l', e fosse incognito il coefficiente k, il valore di questo si potrebbe dedurre dalla formola (a), che ci dà

$$k = \frac{l' - l}{l t} \quad \ldots. \; (d).$$

Finalmente ripresa la formola (b), cioè $l' = l\,(1 + k\,t)$ e chiamando con l'' la lunghezza del corpo a t' gradi si avrà, come è chiaro $l'' = l\,(1 + k\,t')$, la quale divisa per la precedente ci porge

$$\frac{l''}{l'} = \frac{1 + k t'}{1 + k t}$$

da cui si ricava .... $l'' = l' \left(\frac{1 + k t'}{1 + k t} \right)$ .... (e).

Fatta l'indicata divisione, trascurando tutte le potenze di k superiori alla prima, il che può farsi senza grave errore, essendo k, come vedremo, piccolissima frazione, l'ultima formola si riduce alla seguente

$$l'' = l'(1 + k[t' - t]) \ldots (f).$$

Con una di queste due ultime equazioni si potrà trovare la lunghezza di un corpo riscaldato a t' gradi, quando si conosca quella che ha alla temperatura t.

Chiamandosi l'unità accresciuta del coefficiente di dilatazione moltiplicato per la temperatura *binomio di dilatazione*, l'espressione $\frac{l''}{l'} = \frac{1 + k t'}{1 + k t}$ viene ad insegnare, che le lunghezze di una verga a due diverse temperature stanno fra loro come i binomii di dilatazione.

508. Coefficiente di dilatazione superficiale. — Il coefficiente di dilatazione *superficiale* è l'aumento che subisce un'unità di superficie di un solido per l'aumento di un grado di calore. Sogliono i fisici prendere per coefficiente di dilatazione superficiale il doppio del lineare, e ciò per la ragione seguente: Si abbia una superficie eguale alla temperatura zero ad un metro quadrato di una sostanza il cui coefficiente di dilatazione lineare sia k. Ciascun lato di questo quadrato, il qual lato a zero gradi è 1, ad un grado diverrà $1 + k$; e quindi a questa temperatura la superficie del quadrato sarà espressa da

$$(1 + k)^2 = 1 + 2k + k^2.$$

Ma essendo la seconda potenza di una piccola frazione, come è k, piccolissima, potremo trascurare senza pericolo di sensibile errore k^2, e per ciò si potrà dire, che il quadrato 1 per l'aumento di un grado di calore addiviene $1 + 2k$, e che per conseguenza l'aumento di superficie per un grado è $2k$, cioè il doppio del coefficiente di dilatazione lineare.

509. Coefficiente di dilatazione cubica. — L'aumento che subisce l'unità di volume di un corpo solido, liquido o gasoso per l'aumento di un grado di calore dicesi coefficiente di dilatazione

cubica, il quale coefficiente è triplo del lineare. Invero se facciasi eguale ad 1 il lato di un cubo a zero gradi sarà pure eguale ad 1 il suo volume. Per l'aumento di un grado di temperatura ciascun lato di questo addiverrà $1+k$, essendo k il coefficiente di dilatazione lineare, e per conseguenza il volume del cubo sarà espresso da

$$(1+k)^3 = 1+3k+3k^2+k^3$$

e trascurando le potenze di k superiori alla prima, il detto volume si potrà esprimere con $1+3k$, il che ci dice il coefficiente di dilatazione cubica essere $3k$.

Se chiaminsi con V il volume di un corpo alla temperatura zero, con K il coefficiente di dilatazione cubica, con V', V'' i volumi alle temperature t, t', con ragionamenti simili a quelli fatti nel paragrafo 507 si ricavano le seguenti formole

$$V' = V(1+Kt);\ V = \frac{V'}{1+Kt};\ V'' = \frac{V'(1+Kt')}{1+Kt}$$

L'ultima formola ci porge la proporzione

$$V' : V'' = 1+Kt : 1+Kt'$$

la quale insegna che i due volumi d'una data massa di un corpo a due temperature diverse stanno fra di loro come i binomii di dilatazione.

510. Problemi relativi. — Ora riesce facile la risoluzione dei seguenti importanti problemi.

1° Conoscendosi il peso specifico di un corpo alla temperatura t, si vuol trovare il peso specifico del medesimo alla temperatura zero.

Sia P il peso assoluto del corpo V', D' il suo volume ed il suo peso specifico a t^0, V, D il volume e peso specifico a zero gradi. Essendo (99) il peso specifico di un corpo eguale al peso assoluto diviso per il volume, avremo il peso assoluto moltiplicando per il volume il peso specifico, onde si avrà

$$P = V' \times D',\ P = V \times D$$

e quindi
$$V \times D = V' \times D'$$

Ma nel paragrafo precedente si è veduto essere $V' = V(1+Kt)$: dunque sostituendo otterremo

$$V \times D = V(1+Kt)\,D'$$

ed in fine
$$D = (1+Kt)\,D'.$$

Da questa formola apprendiamo, aversi il peso specifico di un corpo alla temperatura zero, moltiplicando il peso specifico, che esso ha alla temperatura t, per il binomio di dilatazione cubica.

Chiamisi ora D'' il peso specifico della medesima sostanza alla temperatura t' si avrà nello stesso modo

$$D = (1+Kt')\,D''$$

e confrontando le due ultime equazioni potremo fare

$$(1+\mathrm{K}\,t')\,\mathrm{D}''=(1+\mathrm{K}\,t)\,\mathrm{D}'$$

la quale equazione ci dà la proporzione

$$\mathrm{D}'':\mathrm{D}'=(1+\mathrm{K}\,t):(1+\mathrm{K}\,t')$$

Questa fa conoscere, che i pesi specifici di un corpo a due diverse temperature stanno fra loro nella ragione inversa dei binomii di dilatazione cubica.

2° Conoscendosi il peso di un litro di gas o vapore a zero gradi, e sotto la pressione di 76 centimetri, si vuole trovare il peso di un litro del medesimo gas o vapore ad un'altra temperatura, e ad un'altra pressione.

Sia p il peso del gaz a zero gradi ed alla pressione di 76 centimetri, e chiamisi t la temperatura a cui si vuol portare, ed H la pressione a cui vogliamo assoggettarlo. Un litro di gas portato da zero a t^0 addiviene litri $1+\mathrm{K}\,t$, se non varia la pressione. Ma secondo la legge di Boyle e Mariotte (179) essendo il volume di un gas nella ragione inversa del peso comprimente, il detto volume $1+\mathrm{K}\,t$ alla pressione di un solo centimetro verrà 76 volte più grande, sarà cioè $(1+\mathrm{K}\,t)\,76$, e questo diverrà H volte più piccolo quando si assoggetti ad una pressione di H centimetri; cosicchè in questo caso sarà $\frac{(1+\mathrm{K}\,t)\,76}{\mathrm{H}}$. Con ciò non non si è cambiato affatto il suo peso p, e per ciò se vogliamo il peso di un solo litro di questo gas alla nuova temperatura e pressione, basterà dividere il suo peso p per il suo volume $\frac{(1+\mathrm{K}\,t)\,76}{\mathrm{H}}$: vale a dire il peso cercato viene espresso da $\frac{\mathrm{H}p}{(1+\mathrm{K}\,t)\,76}$.

3° Risolvasi il problema contrario: vale a dire, sapendosi il peso p d'un litro di gas a t^{o}, e sotto alla pressione di centimetri H, si voglia trovare il peso d'un litro del medesimo gas alla temperatura zero gradi e sotto alla pressione di centimetri 76. Si prenda la formola (509) $\mathrm{V}=\frac{\mathrm{V}'}{1+\mathrm{K}t}$: essendo nel presente caso $\mathrm{V}'=1$, il volume del gas a zero sarà $\mathrm{V}=\frac{1}{1+\mathrm{K}t}$. Se tale sarebbe il volume alla pressione H, a quella d'un solo centimetro sarebbe $\frac{\mathrm{H}}{1+\mathrm{K}t}$, ed alla pressione di 76 centimetri passerebbe ad essere $\frac{\mathrm{H}}{(1+\mathrm{K}\,t).76}$. Dividendo il peso p per questo volume, verrà a trovarsi, che il peso d'un litro di gas a zero gradi ed alla pressione di 76 centimetri è espresso da $\frac{p\,(1+\mathrm{K}\,t)\,76}{\mathrm{H}}$.

4° Sia p il peso d'un litro di gas alla temperatura t ed alla pressione H: si domanda; qual sarà il peso x d'un litro del me-

desimo gas alla temperatura t' ed alla pressione H'? Secondo la formola ottenuta nel problema 3° conosciamo che il peso d'un litro di questo gas a zero gradi ed alla pressione di 76 centimetri è espresso da $\frac{p(1+Kt)76}{H}$. Conoscendosi così il peso di un litro di gas a zero gradi ed alla pressione 76, secondo la risoluzione del problema 2°, ne troveremo il peso d'un litro alla temperatura t' ed alla pressione H' espresso da $x=p\cdot\frac{1+Kt}{1+Kt'}\times\frac{H'}{H}$.

511. Misura dei coefficienti di dilatazione dei solidi. — Abbiamo poco fa veduto, che per i solidi basta conoscere il coefficiente di dilatazione lineare, mentre duplicando o triplicando questo si ottengono i coefficienti di dilatazione superficiale o cubica. Vediamo pertanto come possa determinarsi il coefficiente di dilatazione lineare. Il metodo più adatto è quello usato da Lavoisier e Laplace. Sia M N (fig. 277) una vasca internata in un fornello. Una verga A B della sostanza, di cui si vuol conoscere il coefficiente di dilatazione, è collocata sopra alcuni rulli orizzontali posti entro alla vasca. L'estremità B della detta verga poggia contro un ostacolo fisso, e l'altra estremità A sta a contatto coll'estremo C d'un braccio di leva angolare C O D, che può rotare intorno al punto O. Sopra l'altro braccio O D riposa un piccolo cannocchiale. Posta della neve nel recipiente, si dispongono le cose in modo che, essendo la verga alla temperatura zero, il braccio O C della leva, toccando l'estremità della sbarra suddetta, sia verticale, e quindi il cannocchiale stia orizzontalmente. Ad una notevole distanza si colloca un'asta verticale graduata in centimetri e millimetri, e previamente si misurano con tutta esattezza la lunghezza L della verga a zero gradi, e la distanza O C. Si traguarda col cannocchiale la corrispondente divisione E del regolo, e si misura con somma cura la retta orizzontale O E. Si fa sciogliere dopo ciò la neve, e l'acqua che proviene dalla fusione si scalda, agitandola in pari tempo, perchè prenda un'uniforme temperatura, e questa, che indicheremo con t, si misura con un esatto termometro. Comunicandosi tale temperatura anche alla verga B A, questa si allunga e spinge la leva da C in C'; onde sarà C C' l'allungamento dalla verga B A subìto. Il cannocchiale rimarrà inclinato, e la linea di traguardo discenderà in G. Si misura l'abbassamento E G. I due triangoli O E G, C'O C sono simili, perchè sono retti in E, e C, e perchè sono eguali i due angoli G O E, C'O C, poichè di tanto rota la retta O C, di altrettanto rota il cannocchiale. Avrà adunque luogo la proporzione

$$CO:CC'=EO:EG$$

dalla quale si ricava

$$CC'=\frac{CO\times EG}{EO}$$

Noto in tal modo l'allungamento C C' avvenuto per l'aumento di gradi t, sarà noto ancora l'allungamento relativo ad un solo grado che si esprimerà con $\frac{CO\times EG}{EO\times t}$. Questo allungamento però, es-

sendo relativo a tutta la verga A B lunga metri L, sarebbe L volte minore, qualora la verga fosse lunga un solo metro; ond'è che l'aumento di lunghezza per una unità di misura e per l'acquisto di un solo grado di calore, ossia il coefficiente di dilatazione lineare, rimane espresso da $\frac{CO \times EG}{EO \times t \times L}$. Operando in simil modo a diverse temperature t, si trova che il detto coefficiente di dilatazione d'un solido non cambia sensibilmente tra le temperature comprese fra i limiti 0° e 100°.

512. Coefficienti d'alcuni solidi. — È diverso il coefficiente di dilatazione dei diversi solidi; ecco quello di alcuni:

Legno d'abete	0,000005.00,	Acciaro temprato	0,000012.25,	Rame...	0,000017.18.
Flint-Glass...	0,000008.16,	Acciaro ricotto..	0,000012.39,	Ottone..	0,000018.78.
Vetro bianco.	0,000008.61,	Ferro dolce fucin.	0,000012.20,	Argento	0,000019.09.
Platino......	0,000008.84,	Oro............	0,000014.66,	Piombo	0,000028.57.

513. Anomalie nella dilatazione di alcuni solidi. — Nella dilatazione dei solidi si verificano alcune anomalie. I solidi cristallizzati non si dilatano, generalmente parlando, egualmente in tutte le direzioni; ed è per questo, che alcuni sali riduconsi in frammenti, allorchè si scaldano. Il legno, l'argilla, la carta e molte altre sostanze si ristringono invece di dilatarsi, quando si aumenta la loro temperatura, e la causa di tale anomalia è, che tali corpi contengono molta umidità, la quale, ponendosi tra molecola e molecola, diminuisce l'effetto dell'attrazione molecolare. Evaporandosi l'umidità, quando il corpo si scalda, le molecole prendono la debita posizione, che ad esse compete a quel grado di calore, e perciò il corpo si ristringe. Joule ha osservato, che anche il caucciù diminuisce di volume scaldandosi, il qual fatto è connesso con un'altra proprietà di questa sostanza; vale a dire, mentre i corpi compressi si riscaldano e stirati si raffreddano, il caucciù, al contrario, compresso si raffredda, stirato si scalda.

514. Forza con cui i corpi solidi riscaldati si dilatano. — La forza con cui i solidi si dilatano per aumento di temperatura è considerevolissima, essendo eguale alla forza di pressione necessaria per riportarli al primiero volume. Di eguale intensità è poi la forza, colla quale i solidi raffreddati si ristringono, mentre è corrispondente alla forza di trazione, che si dovrebbe usare per dilatarli di nuovo. Da ciò si deve dedurre, non doversi saldare fra di loro i tubi di ghisa negli acquedotti, ma semplicemente sovrapporre come i tubi d'un cannocchiale, cosicchè possano liberamente accorciarsi ed allungarsi col cambiare della temperatura senza che ne avvenga la loro rottura o curvatura. Per il medesimo motivo debbono essere in un sol punto fissate le lamine di piombo o di zinco, le quali servono a coprire gli edifizii. Di questa considerevole forza si fa applicazione per tenere ben fermi e compatti fra loro i varii pezzi, che formano le ruote dei carri, per mezzo di cerchi di ferro, i quali si fanno d'un diametro interno più piccolo di quello della ruota. Si scalda il cerchio, che per ciò si dilata, ed allora può con qualche sforzo essere adattato alla ruota. Col raf-

freddarsi si ristringe il metallo, che va quindi a comprimere fortemente il legno, e vi si mantiene con stabilità.

515. Coefficiente di dilatazione cubica dei liquidi. — Dovendo i liquidi essere contenuti nei recipienti, i quali scaldandosi si dilatano, è necessario relativamente ad essi liquidi distinguere la dilatazione *apparente* dalla dilatazione *assoluta*. È la dilatazione assoluta l'aumento reale di volume, che si verifica nel liquido, mentre la dilatazione apparente è la differenza che passa tra la reale dilatazione del liquido e quella subìta dal recipiente. A bene ciò comprendere, si ponga un liquido in un recipiente di cristallo, e si noti il punto, a cui giunge la superficie di livello. Scaldando dipoi il liquido, la superficie di esso si vedrà ascendere. Sarà forse tutto l'aumento di volume del liquido quello racchiuso tra l'antica e la nuova superficie di livello? Certo che no; imperocchè essendosi aumentata la capacità del recipiente dal liquido già occupata a motivo dell'aumento di temperatura, anche questa parte di capacità è stata invasa dal liquido. Ciò notato, diciamo, che il volume racchiuso tra le due dette superficie di livello denota la dilatazione apparente subìta dal liquido, mentre l'assoluta è, come abbiamo detto, tutto l'aumento, che nel volume del liquido si verifica.

Il coefficiente di dilatazione apparente varia, come è facile a capirsi, non solo col variare del liquido, ma anche col variare della materia, di cui è formato il vaso. Essendo questo di vetro, così hanno calcolato il coefficiente apparente del mercurio Petit e Dulong. AB (fig. 278) sia un serbatoio cilindrico di vetro, al quale è saldato un tubo capillare Bm. Si conosce la capacità interna del serbatoio alla temperatura zero, e mentre è tale il suo stato termometrico, si empia di mercurio che trovisi alla temperatura medesima. Scaldato quindi l'apparecchio per gradi t, verrà a dilatarsi il recipiente, ma più di esso il mercurio, il quale per conseguenza in parte escirà fuori, sgocciolando da m nel sottoposto vaso C. Il volume del mercurio raccolto in C, diviso per t e per il volume, che aveva il mercurio alla temperatura zero, costituisce il coefficiente cercato, il quale, secondo i detti fisici equivale ad $\frac{1}{6480}$.

Che se si voglia conoscere, come per lo più avviene, il coefficiente di dilatazione assoluta d'un liquido, bisogna nel determinarlo eliminare ogni influenza della dilatabilità del vaso. Ecco il metodo usato da Petit e Dulong. Rammentiamoci, che se in due vasi comunicanti si versino due liquidi di diverso peso specifico, le altezze delle colonne liquide sono nella ragione inversa dei pesi specifici (93). Si abbiano ora due tubi AB, DC (fig. 279) posti in comunicazione fra loro per mezzo d'un tubo orizzontale BC: in questo sistema di vasi comunicanti si versi il liquido che si vuole cimentare, il quale s'innalzerà egualmente nei due tubi verticali. Questi attraversano due recipienti più grandi M, N, nel primo dei quali si mette del ghiaccio, ed olio nell'altro, che si va successivamente riscaldando per mezzo d'un fornello, che lo circonda. Un esatto termometro misura la temperatura t del bagno, e quindi del liquido contenuto in CD. Dilatandosi il liquido, che trovasi in quest'ultimo tubo, s'innalzerà la superficie di livello da questa parte, mentre si abbassa

la superficie in AB, perchè ivi il liquido si condensa. Con un catetometro si misura la differenza d'altezza delle due superficie di livello. Chiamando con l ed l' le altezze delle colonne liquide contenute in AB, ed in DC, e con D, D' i pesi specifici del liquido alle temperature zero e t, per la rammentata teoria dei vasi comunicanti si avrà

$$D : D' = l' : l$$

Ma essendo $D = D'(1 + Kt)$, (510 Prob. 1°), se sostituiamo questo valore nella precedente proporzione, avremo

$$D'(1 + Kt) : D' = l' : l.$$

Da questa si ricava il valore del coefficiente di dilatazione K, che verrà espresso da $K' = \frac{l' - l}{l\,t}$, ovvero, chiamando con h la differenza dei due livelli: $K' = \frac{h}{l\,t}$.

Con tal metodo Petit e Dulong hanno trovato, il coefficiente di dilatabilità assoluta del mercurio essere eguale a $\frac{1}{5550}$

516. Riduzione dell'altezza della colonna barometrica alla temperatura zero. — Parlando delle correzioni barometriche (178) ci riserbammo di dire in questo luogo, come l'altezza della colonna mercuriale del barometro possa ridursi a quella, che esso liquido avrebbe se si trovasse alla temperatura zero. Col cambiarsi della temperatura cambia nel barometro l'altezza della colonna liquida senza che si muti la pressione atmosferica, poichè, come è chiaro, la detta altezza deve essere nella ragione inversa della densità del mercurio alle varie temperature. Quindi si è convenuto di riportare sempre le altezze barometriche a quella che avrebbe il barometro alla temperatura zero. Ecco il problema. Alla temperatura t l'altezza della colonna di mercurio è h; quale sarebbe l'altezza x di essa colonna a zero gradi di calore? Chiamando D, D' le densità del mercurio ai gradi zero e t, ed essendo, come abbiamo detto, le altezze nella ragione inversa della densità, si avrà

$$h : x = D : D'$$

e per essere $D = D'(1 + Kt)$, (510) avremo ancora

$$h : x = D'(1 + Kt) : D'$$

Dalla quale discende $x = \frac{h}{1 + Kt}$, in cui è $K = \frac{1}{5550}$.

517. Anomalia presentata dall'acqua. — Il coefficiente di dilatazione del mercurio è costante entro ai limiti della scala termometrica, ma non è lo stesso della massima parte degli altri liquidi, nei quali esso aumenta coll'elevarsi della temperatura. L'acqua poi ci presenta una singolare anomalia. Se una quantità d'acqua calda si faccia un poco alla volta raffreddare, essa perdendo

calorico si va sempre più addensando: giunta però alla temperatura + 4° C. consegue il massimo di densità, e seguitando a raffreddarsi, non più si ristringe, ma anzi si va dilatando, sicchè a 0° già ha riacquistato il volume, che aveva ad 8°. Causa di tale anomalia sembra essere la seguente. Avvicinandosi la temperatura a 0° le molecole dell'acqua incominciano a disporsi alla cristallizzazione (533), e quindi si vanno allontanando fra loro per prendere quella posizione simmetrica, che ad esse nella cristallizzazione compete. Se l'acqua che si congela non è distillata, la dilatazione nell'atto della congelazione è più notevole, poichè l'aria, la quale era in soluzione coll'acqua, riprende lo stato libero, e forma delle bolle nell'interno del ghiaccio. Hope così verifica l'esposta anomalia. AD (fig. 280) è un vaso cilindrico, il quale verso la sua parte superiore è circondato da un altro vaso C di maggiore diametro. Nella parte inferiore del recipiente AD s'introduce orizzontalmente un termometro *ef*. In questo vaso si pone acqua, e nello spazio anulare posto fra le pareti di esso e quelle del recipiente esterno C si mette una mescolanza di neve e sale marino, che come vedrassi in seguito (528), produce un grande abbassamento di temperatura. L'acqua, che si trova a contatto di detta mescolanza, si viene a raffreddare, diventa più densa, e cade verso il fondo del vaso, portandosi a galla quella meno fredda. Il termometro *ef*, venendo a contatto con acqua sempre più fredda, indica temperature sempre decrescenti. Ma giunta l'acqua superiore al massimo di densità, ad un ulteriore raffreddamento torna a dilatarsi; laonde invece di cadere al fondo del vaso, e produrre altra diminuzione di temperatura nel termometro, rimane in alto, ed il termometro resta stazionario, segnando + 4°. Se allora un altro termometro s'immerga nella parte superiore del vaso, darà segni di temperatura più bassa di quella notata da *ef*.

La dilatazione, che accompagna la congelazione dell'acqua, avviene con enorme forza. Per sperimentar ciò, fu empito d'acqua un cannone da guerra d'erte pareti, e ne fu chiusa la bocca con un sovero battuto e fermato con robuste sbarre di ferro. Espostolo quindi all'aria aperta in una freddissima notte, l'acqua congelandosi si dilatò con forza tale, che ruppe le sbarre, scagliando il turacciolo a notevole distanza. Riempito di nuovo con acqua il cannone, se ne chiuse ermeticamente il foro e l'orificio con metallo fuso. Espostolo all'aria aperta come prima, l'acqua dilatandosi fece scoppiare il cannone. Non deve pertanto recare meraviglia, se nell'inverno si spezzano le pietre, e si distaccano dalle montagne enormi masse di scogli. È l'acqua, che penetrando nelle piccole fessure, le quali trovansi in mezzo alle pietre ed agli scogli, allorchè si gela, si dilata e produce quelle rotture. Se l'acqua penetra entro ai sottili e delicati canali dell'erbe e delle piante, e quindi gela, aumentando di volume, rompe il loro tessuto organico; e le erbe e le piante muoiono. Sarà nota dopo ciò la causa, per la quale le lastre di ghiaccio sono più leggiere dell'acqua liquida, sulla quale galleggiano. Il ghiaccio formato sull'acqua salata è più denso dell'acqua distillata, ma meno denso della salata rimasta liquida. Giustamente nota il P. Pianciani, essere un beneficio fattoci dalla

Provvidenza l'esposta anomalia, che offre l'acqua. Invero se il ghiaccio fosse più pesante dell'acqua, formatosene uno strato alla superficie dei mari e dei laghi, questo piomberebbe al fondo, ove ben presto sarebbe raggiunto da altri strati successivamente formati. Nè questi ammassi di gelo si liquefarebbero nell'estate, perchè l'acqua, come vedremo (689), è poco conduttrice del calorico. Aumentandosi quindi in ogni anno i depositi di ghiaccio, dopo un lasso di tempo si troverebbe convertita in un ammasso solido l'acqua dal polo fino ai confini delle zone temperate. Dilatandosi invece l'acqua col raffreddarsi sotto a 4°, l'acqua sottoposta al gelo difficilmente giunge ad una temperatura inferiore a questa, al qual grado di calore ben vivono gli animali, che popolano i mari, ed il ghiaccio galleggiante colla sua poca conduttricità impedisce il soverchio raffreddarsi delle acque sottoposte, ed è pronto a fondersi al riscaldarsi dell'atmosfera.

518. Metodo di Gay-Lussac per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas. — Siccome le molecole dei gas non risentono la forza dell'attrazione molecolare, ma anzi mutuamente si respingono; avviene che i gas, oltre all'essere i corpi più dilatabili di tutti, presentino nella dilatazione un'uniformità tale, che per molto tempo i fisici hanno creduto, che tutti i gas abbiano un coefficiente di dilatazione identico e costante a qualunque temperatura. I primi ad occuparsi della dilatazione dei corpi aeriformi furono Volta, Dalton e Gay-Lussac. Il metodo posto in opera da quest'ultimo è il seguente. MN (fig. 281) è una cassetta di latta lunga circa 40 centimetri e piena d'acqua, la cui temperatura si può più o meno elevare per mezzo d'un sottoposto fornello. Alcuni termometri D, E... misurano i gradi di calore dell'acqua, la quale deve di tanto in tanto essere agitata, perchè prenda una temperatura uniforme. S'introduce orizzontalmente nella cassetta un tubo termometrico formato d'un serbatoio sferico A e d'un tubo capillare OC. Questo cannello è diviso in tante parti d'eguale capacità; ed è necessario sapere, a quante di queste capacità eguali corrisponda quella del serbatoio A. Per tale scopo si pesa il tubo vuoto, e quindi si ripesa di nuovo, dopo di averci introdotto del mercurio, che empia il solo serbatoio alla temperatura zero. Sottratto a questo peso quello dell'apparecchio vuoto, il residuo sarà il peso P del mercurio, che a zero gradi empie il serbatio. Ora si sa, che un centimetro cubo di mercurio a 0° pesa grammi 13,59: dunque dividendo il peso P espresso in grammi per 13,59, il quoto indicherà il numero dei centimetri cubi del mercurio, ossia il numero dei centimetri cubi costituenti la capacità del serbatojo. Si versi dipoi in *AC* un'altra quantità di mercurio, sicchè questo alla temperatura zero occupi oltre al bulbo un numero n di divisioni del cannello, e si pesi; al peso si sottragga quello del recipiente e quello del mercurio, che occupa la sfera A. Avremo così il peso p del mercurio, che empie la parte del tubo corrispondente ad n divisioni, e comprenderemo che il peso del mercurio, il quale occupa una sola divisione sarà $\frac{p}{n}$, e che per conseguenza la capacità corrispondente ad una sola divisione sarà espressa da centimetri cubi $\frac{p}{n \times 13{,}59}$.

Graduato il tubo nel modo suddetto, bisogna porci dentro o l'aria od il gas, il cui coefficiente si ha da determinare. È necessario però che l'aria o gas siano privi d'umidità: ed a tal fine si empie l'apparato di vetro con mercurio, che poi si fa bollire per disseccarlo; poscia si annette all'estremità del tubo un altro tubo C pieno di sostanze disseccanti, ad esempio, di cloruro di calce. Si introduce dopo ciò nel tubo AB a traverso di C un sottil filo di platino, che si agita nel tubo, il quale si tiene inclinato in modo da farne effluire il mercurio goccia a goccia, dando leggere scosse all'apparato. L'aria entra bolla a bolla nel serbatojo, ma dopo essersi disseccata, passando per il cloruro di calce. In modi consimili si sarebbero potuti introdurre altri gas. Fatto così entrare il corpo gasoso, si fa penetrare nel tubo una goccia di mercurio, che serva da indice, e si pone l'apparato nella cassetta. Essendo questa prima empita di ghiaccio fondentesi, il gas si contrae, e l'indice scorre verso A. Si conoscerà per tal modo il volume V del gas a zero gradi. Fatto fondere il ghiaccio, l'acqua risultata si fa scaldare fino ad un dato grado t. Il gas si dilata, e l'indice si avanza verso B. Notato il punto, in cui questo s'arresta, avremmo in centimetri cubi l'attuale volume V' del mercurio, se il cristallo non si fosse anch'esso dilatato. Ognuno vede, che il mercurio ora occupa il serbatojo ed il dato numero di divisioni, uno spazio cioè che alla temperatura zero sarebbe di centimetri V': ma una capacità V' alla temperatura zero, che sarà divenuta alla temperatura t? A determinar questa basta moltiplicare il volume V' per il binomio della dilatazione cubica del vetro (509); vale a dire il volume del gas, che a zero gradi era V', alla temperatura t addiviene centimetri cubi $V' (1 + Kt)$, e perciò l'aumento di volume per gradi t sarà espresso da $V' (1 + Kt) - V$, e per l'aumento d'un solo grado, e per una sola unità di volume l'aumento subìto sarà $\frac{V' (1 + Kt) - V}{Vt}$

Questo sarebbe il coefficiente di dilatazione, se la pressione atmosferica, che va sempre osservata, non si fosse cambiata, allorchè si sono determinati i due volumi V, V'. Supponiamo però che detta pressione sia H, quando si è preso il volume V, ed H', quando si è misurato V': il cambiamento di volume sarebbe provenuto anche da tale variazione di pressione, e per ciò bisognerebbe riportare il volume $V' (1 + K t)$ alla pressione H. Per la legge di Mariotte (179) diremo, che quel volume, che alla pressione H' è $V' (1 + K t)$, a quella di un sol centimetro è $V' (1 + K t) H'$, ed alla pressione di centimetri H è $V' (1 + K t) \frac{H'}{H}$, onde la formola, la quale dà il coefficiente di dilatazione di un gas è $\alpha = \frac{V' (1 + K t) \frac{H'}{H} - V}{Vt}$.

Gay-Lussac coll'esposto metodo trovò, che il coefficiente di dilatazione di qualunque gas a qualunque temperatura è $\alpha = 0{,}00375$.

519. Metodo di Regnault. — Regnault ha fatto nuovi studi sulla dilatazione dei gas e con maggiore esattezza, servendosi dell'apparechio, che ora ci facciamo a descrivere. B (fig. 282) è un

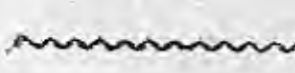
pallone di vetro della capacità di circa un litro, il quale ha un collo assai stretto ed affilato. Avendolo pesato prima vuoto e poi pieno di acqua, dalla differenza di questi pesi si ottiene quello dell'acqua contenuta, e quindi si può conoscere la capacità di esso vaso, sapendosi, che ogni grammo d'acqua alla temperatura $+4^0$ occupa uno spazio di un centimetro cubo. Il detto pallone è collocato entro ad una piccola caldaia C, dalla quale sporge orizzontalmente il collo affilato B*r*. Di fronte al pallone vi è un manometro ad aria libera (184) formato da due tubi verticali di vetro F, *t* uniti con mastice ad un tubo metallico curvato in due punti ad angolo retto, il quale manometro è sostenuto da un tavolo verticale. In *d* vi è una chiavetta a tre canali, mediante la quale si possono mettere in comunicazione fra loro i due tubi verticali F, *t*, o ciascuno di questi coll'aria atmosferica in esso punto *d*. La branca *t* termina in alto con un tubo strettissimo, che va a ripiegarsi orizzontalmente, e va in tal modo a porsi col suo estremo di fronte all'estremo del tubo affilato formante il collo del matraccio B. Questi due estremi debbono essere uniti tra di loro a tenuta di aria con molta esattezza, ed un tubo di vetro V è saldato ad angolo retto con uno dei due tubi di comunicazione.

Si versa mercurio nel manometro, e posta dell'acqua nella caldaia, cosicchè la superficie di livello di essa stia al disotto del pallone, si fa bollire quest'acqua, i cui vapori, circondando il pallone, riscalderanno l'aria in esso contenuta a 100^0. Per mezzo di una macchina pneumatica si fa il vuoto nel pallone per il tubo V, e poscia si fa entrare l'aria, obbligandola però a passare per più tubi piegati ad U e pieni di pomice imbevuta d'acido solforico Si ripete più volte questa manovra, cosicchè si possa esser sicuri, il pallone esser pieno d'aria perfettamente secca. Quest'aria subirà la pressione H allora indicata dal barometro. Si pone nuovo mercurio nel manometro finchè la superficie di livello si trovi ad eguale altezza in ambedue le braccia ed ascenda nella branca *t* fino ad un punto *a* ben notato e posto nella parte affilata. Dopo esserci accertati, che l'aria contenuta in B ha una temperatura di 100^0, la quale è indicata da un termometro immerso nel vapore della caldaia, si chiude ermeticamente il tubo V per mezzo della lampada. Qui termina la prima parte dell'esperimento, e prima di procedere avanti si osservi, che indicando con V la capacità del pallone a zero gradi, l'attuale capacità sua a 100 gradi, e quindi il volume dell'aria in esso racchiusa sarà (509) $V(1+100K)$, indicando con K il coefficiente di dilatazione cubica del vetro di cui è formato il matraccio. Che se indicheremo con α il coefficiente di dilatazione dell'aria, comprenderemo, che essendo il suo volume alla temperatura di 100^0 $V(1+100K)$, a zero gradi sarà $\frac{V(1+100K)}{1+100\alpha}$. Ma tal volume compete all'aria alla pressione di centimetri H; ma alla pressione di un centimetro diverrebbe $\frac{V(1+100K).H}{1+100.\alpha}$. Questo adunque è il volume dell'aria chiusa nel pallone alla temperatura zero ed alla pressione di un centimetro.

Passiamo ora alla seconda parte dell'esperimento. Estinto il fuoco si verrà a raffreddare l'aria contenuta in B, essa si ristringerà, e per

ciò facendo minor pressione sul mercurio del ramo t, questo ascenderà nel detto ramo, e discenderà la superficie di livello nel ramo F. Onde obbligare l'aria a riprendere il primiero volume, si dovrà procurare di fare ridiscendere la superficie di livello nella branca t in a, ed a tale scopo bisognerà diminuire la pressione, che esercita il mercurio della branca F, il che si ottiene col far sgorgare una parte della colonna mercuriale del ramo F, girando a dovere la chiavetta d. Ponendo del giacchio invece dell' acqua nella caldaia C, l'aria racchiusa in B si ridurrà alla temperatura zero, si ristringerà di nuovo e la superficie del mercurio tornerà a sollevarsi sopra a, e per obbligare l'aria ad occupare lo spazio primiero si dovrà fare escire un'altra quantità di mercurio dal tubo F. Si comprende dal detto, che la superficie di livello rimane più bassa in F che in t, e questa differenza di livello, che indichiamo con h, si deve esattamente misurare con un catetometro. Se H' rappresenti la pressione atmosferica notata dal barometro durante la seconda parte dell'esperimento, si dovrà esprimere la pressione sostenuta dall'aria contenuta in B con $H' - h$, mentre è manifesto, che la pressione H' esercitata dall'atmosfera sulla parte aperta del manometro non è tutta trasmessa all'aria, che trovasi in B, ma in parte è elisa dal peso della colonna mercuriale della branca t, che eccede quella del ramo F. Adunque il volume dell'aria racchiusa in B alla temperatura zero; ed alla pressione $H' - h$ sarà eguale alla capacità del recipiente a zero gradi, che abbiamo chiamata con V; e quindi il detto volume dell'aria a zero gradi, ma alla pressione di un solo centimetro sarà $V(H' - h)$. Ma questo medesimo volume l'avevamo trovato nella prima parte dell'esperimento espresso da $\frac{V(1 + 100\,K)H}{1 + 100.\alpha}$; dunque si potrà impiantare l'equazione

$$V(H' - h) = \frac{V(1 + 100\,K)H}{1 + 100.\alpha}$$

nella quale isolando α si viene ad avere

$$\alpha = \frac{(1 + 100\,K)H - 1}{100(H' - h)}.$$

Si noti, che in questo esperimento si è trascurato il piccolissimo volume d'aria contenuto nei tubi, e che prende la temperatura dell'ambiente, il qual volume si sarebbe potuto pure prendere a calcolo, quando si fosse voluto usare di una scrupolosa esattezza.

Con il descritto metodo Regnault ha conosciuto, che il vero coefficiente di dilatazione dei gas è 0,00366: ha veduto inoltre, non tutti i gas avere un identico coefficiente, il quale varia un poco da gas a gas. Ad esempio il coefficiente dell'aria è 0,003665; quello dell'idrogeno è 0,003667; quello dell'azoto 0,003668. Finalmente ha osservato, che il coefficiente di dilatazione dei gas aumenta colla pressione, e per conseguenza colla densità. Per il che si può supporre, che la piccola differenza dei coefficienti dei gas posti sotto una medesima pressione, sia da ripetersi dalla differenza di loro densità; di maniera che se i corpi aeriformi si riducessero ad una

densità eguale, il coefficiente di dilatazione si mostrerebbe identico per tutti.

520. Apparecchio per regolare la temperatura di un bagno. — In molti esperimenti fisiologici si richiede che una massa d'acqua si debba mantenere invariabilmente per un lungo tempo ad una determinata temperatura. Ad ottenere un tale effetto Fridel ha fatto costruire da Wisnegg il seguente apparato basato sulla grande dilatabilità dell'aria. Un tubo AB (fig. 283) chiuso in B porta al suo terzo inferiore C un diaframma di vetro, al centro perforato del quale è saldato un tubo pur di vetro, che discende quasi fino al fondo B. Si versi mercurio nel tubo AB: questo liquido penetrerà nello spazio sottoposto al diaframma, e comprimendo l'aria, la incarcererà nello spazio *m*, *n* e quindi una parte del mercurio ben presto troverassi al disopra del diaframma, in modo che l'aria racchiusa in *m*, *n* sopporterà una pressione superiore a quella di un' atmosfera. La parte superiore A del tubo è chiusa con un turacciolo attraversato da un tubo di ferro, il quale nel suo estremo inferiore, che trovasi presso C, ha una stretta fessura laterale. Al disotto del turacciolo A è saldato ad AB un tubo orizzontale *cd*. Nel liquido, che si vuole mantener caldo, s'immerge tutta la parte del tubo, che contiene l'aria compressa, e si fissa in *d* un tubo di caucciù, che sta in comunicazione con un recipiente, il quale contiene il gas da illuminazione. In *f* si annette un altro tubo, che va a terminare nella lampada a gas F posta sotto alla vasca, entro cui è il bagno, che deve scaldarsi. Ben si vede, dipendere la quantità della fiamma e del calore che emette dalla quantità di gas che giunge alla lampada F, il quale entra per *c*, penetra per la fessura posta all'estremo inferiore del tubo di ferro, e quindi passa per il tubo *fo*F. Per mezzo di una vite *g* si abbassa un poco alla volta il cilindro di ferro, sicchè una parte della fessura laterale s'immerga nel mercurio, e non ne resti al difuori se non quanto è necessario a somministrare una fiamma bastevole ad elevare e mantenere il bagno alla richiesta temperatura. È manifesto, che se il bagno viene a raffreddarsi, si raffredda ancora l'aria contenuta in *m*, *n*, si addensa, e parte del mercurio discende nel compartimento inferiore. Crescendo quindi la parte della fessura sporgente dal mercurio, penetra per essa una maggior quantità di gas, che ravviva la sorgente calorifica. Viceversa, aumentandosi soverchiamente la temperatura del bagno, si dilata l'aria incarcerata in *m*, *n*, la quale, premendo il mercurio, lo spinge nel compartimento superiore, onde viene ad impiccolirsi l'apertura d'ingresso del gas, e per ciò diminuisce la fiamma. Potrebbe però avvenire che, chiudendosi del tutto la fessura del tubo di ferro, la fiamma si estingua. Ad evitare ciò per un altro condotto *l* si fa giungere alla lampada F direttamente un'altra quantità di gas, la quale per mezzo di una chiavetta *r* si regola in modo, che sia bastante ad alimentare la lampada per non farla estinguere, ma non sia sufficiente da sè sola a produrre la voluta temperatura.

CAPO IV.

DENSITÀ DEI GAS E DEI VAPORI

---

521. *Difficoltà che s'incontrano nel determinare i pesi specifici dei gas* — 522. *Metodo di Regnault* — 523. *Peso d'un litro d'aria alla temperatura zero e sotto alla pressione di mm. 760* — 524. *Processo di Dumas per determinare la densità dei vapori* — *Tavola dei pesi specifici di alcuni gas e vapori.*

521. Difficoltà che s'incontrano nel determinare i pesi specifici dei gas. — Abbiamo altrove dati i metodi per determinare i pesi specifici dei solidi (101) e dei liquidi (103): ora abbiamo nozioni bastanti per determinare riguardo ai gas il peso specifico, il quale non si rapporta già, come nei solidi e liquidi all'acqua, ma bensì all'aria; onde deve dirsi, che il peso specifico d'un gas è il rapporto, che passa tra i pesi di un volume del gas e d'un volume eguale di aria. A primo aspetto sembrerebbe cosa ben facile il determinare un tal peso specifico, operando così: preso un pallone di vetro della capacità di 6 a 10 litri munito di chiavetta, si empia d'un gas e si pesi il pallone così pieno: si faccia il vuoto per mezzo d'una macchina pneumatica, e si pesi di nuovo il pallone. La differenza delle due pesate verrebbe ad indicare il peso di un volume di quel gas eguale alla capacità del recipiente. Pesato poi il pallone pieno d'aria, la differenza di questo peso e di quello del pallone vuoto, darebbe il peso d'un eguale volume d'aria; onde dividendo per quest'ultimo peso quello del gas, il quoto darebbe il cercato peso specifico del cimentato corpo aeriforme. Questo metodo però presenta le seguenti difficoltà. 1ª Il gas e l'aria debbonsi introdurre nel pallone già disseccato molto secchi e puri. 2ª Influendo la temperatura assai nella densità dei gas, l'aria ed il gas debbono essere pesati ad una temperatura identica, ovvero dovrebbero farsi le dovute correzioni. 3ª Siccome anche la pressione influisce nella densità dei gas, bisogna determinare la pressione che subiscono l'aria ed il gas prima di pesarli; e poichè il vuoto perfetto colla macchina pneumatica non si può ottenere (190), è necessario ancora determinare la pressione, che esercita l'aria o gas rimasti nel pallone. 4ª Il pallone si pesa nell'aria, e si sa (96) che esso perde per ciò tanto di peso, quanto è il peso dell'aria scacciata, la qual perdita non sarà identica nelle varie pesate, se durante l'esperimento cambia la densità dell'aria.

522. Metodo di Regnault. — Tutte le accennate difficoltà sono state molto bene superate da Regnault col seguente metodo. S'incomincia dal togliere totalmente l'umidità al pallone; il che si ottiene col metterlo in comunicazione per mezzo di due tubi a vicenda con una macchina pneumatica e con un sistema di tubi piegati a U e pieni di pomice imbevuta di acido solforico. Per mezzo di due chiavette ora il pallone comunica colla prima, ora coi secondi. Collocato esso recipiente nell'acqua calda, si fa il vuoto, poi si fa rien-

trar dentro l'aria, la quale viene a spogliarsi d'umidità nell'attraversare la materia disseccante. Questa operazione si ripete più volte. Per empire il pallone di gas puro e secco ad una temperatura nota e costante, ossia a zero gradi, s'immerge in un recipiente AB (figura 284) pieno di neve esso matraccio C: poi per mezzo del tubo a due branche L si mette alternativamente in comunicazione colla macchina pneumatica e coi tubi disseccanti, i quali comunicano col gasometro, in cui trovasi il gas da sperimentarsi. Comunica ancora il pallone coll'estremo superiore d'un tubo di vetro, il quale pesca coll'altro estremo nel pozzetto di un barometro T, formando così un manometro, che misurerà la pressione del gas racchiuso nel pallone. Si fa in quest'ultimo il vuoto, e chiuso il rubinetto, che lo faceva comunicare colla macchina pneumatica, con precauzione si apre quello dei tubi diseccanti, attraverso dei quali passando il gas e disseccandosi, penetra nel matraccio. Siccome in questo era rimasta un po' d'aria, si torna a fare il vuoto, e s'introduce altra quantità di gas, e ciò si ripete più volte, cosicchè in fine sia del tutto trascurabile l'impercettibile quantità d'aria, che rimane unita al gas. Empito con tal metodo il pallone di gas puro ed alla temperatura zero, e notata la pressione P data dalla differenza d'altezza del mercurio nei due tubi del manometro, si chiude il pallone e si pesa. Si ripone dopo ciò nel ghiaccio, e si fa il vuoto in esso. Siccome questo non riesce perfetto, rimarrà nel matraccio un po' di gas, la cui tensione p è letta nel manometro. Si torna a pesare il matraccio, e sottratto quest'ultimo peso al primo, la differenza indica non già il peso di tutto il gas, che empiva il pallone, ma bensì della quantità di esso, che facendo il vuoto abbiamo portato via. Ora è cosa facile a capirsi, che se invece di portar via dal matraccio il gas, il quale la macchina pneumatica ha realmente succhiato, si portasse via quello, che è rimasto, e la cui tensione è p, la prima quantità di gas, rimanendo nel pallone, ne occuperebbe tutta la capacità, e la sua tensione si ridurrebbe a $P-p$. Dunque possiamo dire, che la detta differenza dei due pesi è il peso d'un volume di gas eguale alla capacità del pallone a zero gradi ed alla pressione $P-p$. Posti i tubi disseccanti in comunicazione coll'atmosfera, si ripetono tutte queste operazioni, onde avere il peso di un egual volume d'aria secca alla temperatura zero ed alla pressione $P'-p'$. Se le due pressioni $P-p$, $P'-p'$ riescissero eguali, si dovrebbe dividere il peso ottenuto dal gas per quello dell'aria; ma in caso diverso bisogna fare una correzione. Suppongasi che il peso del gas sia stato a alla pressione $P-p=q$, e che b sia stato il peso dell'aria alla pressione $P'-p'=r$. Essendo i pesi proporzionali alle densità, e queste proporzionali ai pesi comprimenti; diremo, che il peso del gas alla pressione d'un solo millimetro diverrà $\frac{a}{q}$, ed alla pressione di millimetri r sarà $\frac{a \times r}{q}$. Adunque il peso specifico x di quest'ultimo sarà espresso da $x=\frac{a \times r}{q \times b}$. Per eliminare la 4ª difficoltà accennata nel precedente paragrafo. Regnault

operava così: uno dei pesi noti, con cui deve equilibrarsi il pallone, ha esattamente il volume esteriore di questo. Per tal modo si ottiene, che qualunque sia la densità dell'aria, la perdita di peso, che ha luogo per il principio d'Archimede, sia sempre eguale da ambedue le parti.

523. Peso d'un litro d'aria a 0° e sotto la pressione di mm. 760. — Trattando del peso specifico dei solidi (100) dicemmo, che consistendo questo nel quoto, che si ottiene col dividere il peso assoluto d'un corpo per il peso d'un egual volume d'acqua distillata alla temperatura di 4°, esso peso specifico denota ancora il peso d'una unità di volume del medesimo corpo; poichè pesando un litro d'acqua distillata a 4 gradi di calore un chilogramma, il peso dell'acqua esprime il suo volume, e quindi il volume del corpo sperimentato: per il che dividere il peso del corpo per il peso dell'acqua è lo stesso che dividerlo per il suo volume. Se l'unità di volume dell'aria corrispondesse all'unità di peso, potrebbe dirsi lo stesso della densità dei gas; cioè se un litro d'aria a 4 gradi di calore ed alla pressione di 760 millimetri pesasse, ad esempio, un grammo, il numero che verrebbe ad esprimere la densità del gas in confronto di quella dell'aria, esprimerebbe il peso d'una unità di volume del gas, che sarebbe il peso specifico. Ma la cosa non è così, e per conseguenza a conoscere il peso d'una unità di volume di un gas, bisogna pesare un'unità di volume di aria a quella data temperatura e pressione e moltiplicare questo peso per la densità del gas.

Per ottenere il peso dell'aria si opera come nella precedente esperienza, ma bisogna conoscere la capacità del pallone; il che si ottiene col pesarlo pieno d'acqua distillata a 4 gradi di temperatura, e poi vuoto. La differenza delle due pesate sarà il peso dell'acqua, e questo in chilogrammi e grammi darà il volume dell'acqua, e per ciò la capacità del recipiente, in decimetri e centimetri cubi. Facilmente poi, conosciuta la capacità del matraccio a 4°, conosceremo quella che avrà a zero gradi (509). Diviso il peso dell'aria per il detto volume, avremo il peso d'un litro d'aria, che da Regnault si è trovato alla temperatura zero ed alla pressione, di mm. 760 corrispondente a grammi 1,293; per il qual numero, come si è detto, va moltiplicata la densità del gas per conoscere il peso d'un litro del gas stesso alla medesima temperatura ed alla stessa pressione.

Qualche volta il peso specifico d'un gas si riferisce all'acqua. Pesando un litro d'aria grammi 1,293, ed un litro d'acqua gr. 1000, il peso specifico dell'aria viene ad essere 0,001293, ossia $\frac{1}{773}$, cioè l'aria è 773 volte più leggiera dell'acqua, essendo l'aria alla temperatura zero ed alla pressione di mm. 760. Il corpo più leggiero che si conosca è l'idrogeno, la cui densità è 0,0692; onde il peso d'un litro di questo gas è grammi $1,293 \times 0,0692 = 0,0895$. Pesando poi un litro di platino, che è il corpo più grave di tutti, chilog. 22, se si divide questo numero per il precedente, si trova, che l'idrogeno a zero gradi ed alla pressione di mm. 760 è 245800 volte più leggiero del platino.

524. Processo di Dumas per determinare la densità dei vapori — Pesi specifici di alcuni gas e vapori. — Per

determinare la densità dei vapori, secondo quello che si è detto, fa d'uopo pesare un determinato volume di vapore, ed un egual volume d'aria nelle medesime condizioni di temperatura e pressione, e dividere il primo peso per il secondo. A tale oggetto Dumas fece uso del seguente metodo. Si prenda un pallone di vetro di circa mezzo litro di capacità, il cui collo affilato termina con una stretta bocca, e si determini la sua capacità coll'empirlo perfettamente d'un liquido, e versar quindi questo in una provetta graduata. Si toglie dipoi al recipiente l'umidità, facendovi più volte il vuoto e quindi rientrare l'aria disseccata. Essendo così il recipiente suddetto pieno d'aria secca all'attuale temperatura t ed alla attuale pressione H, esso si pesa; ed il peso P sarà quello del recipiente, più quello d'una massa d'aria di volume eguale alla capacità del vaso ed avente la temperatura t ed una pressione H. Quando siasi determinato questo peso p dell'aria, sarà anche noto il peso del solo recipiente, che viene espresso da $P - p$. Il peso p dell'aria così si determina: sia V' la capacità del pallone; sarà pure V' la massa d'aria alla temperatura t ed alla pressione H; e sia il litro l'unità di volume. Indicando con α il coefficiente di dilatabilità dell'aria il suo volume a zero gradi sarà $\frac{V'}{1+\alpha t}$ (509), rimanendo costante la pressione H; ma alla pressione d'un sol millimetro sarà $\frac{V' \times H}{1+\alpha t}$, ed a quella di mm. 760 $\frac{V'}{1+\alpha t} \times \frac{H}{760}$ (510). Ora sappiamo dal numero precedente, che un litro d'aria a zero gradi ed alla pressione di mm. 760 ha un peso di grammi 1,293; dunque il peso dell'aria contenuta nel matraccio sarà $p = V' \times 1{,}293 \times \frac{1}{1+\alpha t} \times \frac{H}{760}$. Che se chiamiamo con V il volume del recipiente a zero gradi, essendo $V' = V(1+Kt)$; col sostituire questo valore nella precedente formola, e fatto ancora $\alpha = 0{,}00367$, potremo esprimere il peso dell'aria con questa altra formola

$$p = \frac{V(1+Kt) \times 1{,}293 \times H}{(1+0{,}00367 \, . \, t) \times 760}.$$

Noto il peso p dell'aria, tosto conosciamo, come si è detto, il peso del matraccio vuoto ossia $P - p$. Dopo ciò si fa passare nel pallone una quantità di liquido, del cui vapore si ha da determinare il peso specifico: il che si raggiunge collo scaldare il matraccio, onde diradarne l'aria, e capovoltolo immergere il suo collo nel liquido, il quale, raffreddandosi l'aria interna, sarà costretto a penetrarvi. Ciò fatto, s'immerge il pallone in un bagno di olio, che si scalda per mezzo d'un sottoposto fornello. La sola apertura del collo deve emergere dal bagno, il quale si porta ad una temperatura maggiore di quella, che si richiede per l'ebollizione del liquido interno. Allorchè questo si è convertito completamente in vapore, si chiude colla lampada la bocca del collo, cosicchè il pallone trovasi pieno di vapore alla pressione H data dal barometro

ed alla temperatura t del bagno notata da un termometro immerso nell'olio, e la quale era stata resa uniforme per tutto il bagno coll'agitare l'olio stesso. Asciugato ben bene il matraccio, si pesa; e questo peso P' sarà eguale a quello del recipiente più quello del vapore contenuto; ond'è che se a questo peso P' si tolga quello del recipiente vuoto $P - p$, la differenza $P' - (P - p)$ sarà il peso del vapore, che empiva il pallone alla temperatura t ed alla pressione H. Coll'ultima precedente formola relativa al valore di p, si determina il peso dell'aria di volume eguale a quella di esso vapore alla medesima temperatura e pressione, e quindi dividendo il trovato peso del vapore $P' - (P - p)$ per il peso dell'aria $\frac{V(1+Kt) \times 1{,}293 \times H}{(1+0{,}00367.\,t) \times 760}$ otterremo la densità del vapore colla formola

$$D = \frac{(P' - (P - p))\,(1+0{,}00367.\,t)\,760}{V\,(1+Kt)\,\times 1{,}293.\,H}$$

L'esperienza ha insegnato, che la densità d'un vapore, ossia il rapporto del suo peso con quello d'un egual volume d'aria alle medesime condizioni di temperatura e pressione, non diventa costante che a temperature assai alte. Ad esempio il vapore di zolfo ad una temperatura vicina al punto di ebullizione è 6,62 volte più denso dell'aria, mentre ad un grado assai elevato di calore è solo 2,2 volte più denso dell'aria pure elevata a quella temperatura.

Notiamo i pesi specifici di alcuni gas e vapori:

Aria	1,0000,	Cloro	2,4400,	Vapore alcoolico	1,6100
Ossigeno	1,1056,	Idrogeno protocarbonato	0,5200,	Vap. etereo	2,5800
Idrogeno	0,0692,			Vap. di zolfo	2,2000
Azoto	0,9720,	Idrogeno bicarbonato	0,9700,	Vap. di bromo	5,5400
Protossido d'azoto	1,5200,			Vap. di jodio	8,7100
Acido carbonico	1,5200,	Ammoniaca	0,5900,	Vap. di mercurio	6,9700
Acido solforico	2,2300,	Vapore acqueo	0,6220,		

CAPO V.

PASSAGGIO D'UN CORPO DALLO STATO SOLIDO AL LIQUIDO, E DALLO STATO LIQUIDO AL SOLIDO

525. Passaggio di stato d'aggregazione d'un corpo. — Abbiamo altre volte veduto (491), che la forza ripulsiva del calorico tende ad indebolire la forza d'attrazione molecolare, la quale decresce assai rapidamente col crescere della distanza, che passa tra le mo-

lecole di un corpo. Abbiamo ancora veduto, che riscaldandosi un corpo si dilata sempre più, perchè il calorico aumenta la forza ripulsiva, che tende ad allontanare le molecole. Se pertanto accresciamo sempre più la temperatura d'un corpo, indeboliremo sempre più l'attrazione molecolare, e giungeremo necessariamente ad un punto, in cui le molecole, le quali fra di loro fortemente aderivano, quantunque conservino una certa aderenza, pure divengono assai scorrevoli. Quando ciò avviene si dice, il solido essersi *fuso*, cioè esser passato allo stato di liquido. Se invece si raffreddi un liquido, si verranno ad avvicinare scambievolmente le sue molecole, con che si viene ad aumentare l'attrazione molecolare, e si giungerà alfine ad un punto, in cui per l'aumentata attrazione le molecole perderanno la loro scorrevolezza, ed il liquido diventerà solido. Che se il liquido piuttosto che raffreddarsi si venga a scaldare di più, s'indebolirà maggiormente la molecolare attrazione, la quale finalmente rimarrà del tutto elisa, e le molecole per l'esuberante ripulsione calorifica tenderanno sempre più ad allontanarsi, e quando ciò avvenga dicesi, che si converte in *vapore*, cioè in un gas, che facilmente alle ordinarie temperature torna allo stato di liquido o di solido. I vapori ed i gas per sottrazione di calorico possono passare ad essere liquidi. Ci è piaciuto di richiamare alla memoria tutto questo, quantunque altre volte da noi esposto, perchè dobbiamo partitamente parlare di questi passaggi di stato d'aggregazione.

526. Punto di fusione. — Dicesi *punto di fusione* quella temperatura, a cui elevato un solido, questo passa ad esser liquido. Tal punto di fusione è ben vario per le diverse sostanze, ma è fisso e costante per i singoli corpi. Ad esempio il mercurio si fonde a — 40°, il ghiaccio a zero, l'argento a 1000, il platino a 2000. Tutti i corpi debbono avere un punto di fusione, perchè altrimenti converrebbe dire, che nei corpi, i quali non si fondono, l'attrazione molecolare è senza limiti, rimanendo sempre grandissima a qualunque distanza, per il successivo aumento di temperatura, siano portate le molecole. Ciò nonostante in alcune sostanze, come il carbone, la carta, i legni, le pelli, la seta, il lino ecc., non si può avere la fusione, ma da ciò non si deve dedurre, non esistere per esse un punto di fusione; imperocchè se sono *refrattarie* alla fusione, questo avviene, o perchè il grado di calore necessario alla loro liquefazione è così elevato, da esserci cogli attuali mezzi impossibile di produrlo, o perchè giunti essi corpi ad una temperatura più bassa di quella necessaria alla fusione, nasce in loro la combustione, e si decompongono. Presentiamo una tavola, in cui si notano i punti di fusione di alcune sostanze.

Mercurio	—40,	Stearina	+ 60,	Stagno	+225
Ghiaccio	0,	Cera bianca	+ 63,	Bismuto	+264
Sego	+33,	Acido stearico	+ 76,	Piombo	+335
Fosforo	+44,	Sodio	+ 90,	Antimonio	+450
Potassio	+55,	Lega di Darcet	+ 94,	Zinco	+500
Acido margarico	+57,	Zolfo	+111,		

In quanto ai punti di fusione notati nelle tavole due cose si debbono considerare, cioè 1° che, generalmente parlando, i corpi

composti si fondono ad una temperatura più bassa di quella, che sarebbe la media dei punti di fusione dei principii costituenti: ad esempio la lega fusibile di Darcet formata d'una parte di piombo, una di stagno e quattro di bismuto si fonde a 94°: 2° che l'ossido ritarda la fusione dei metalli; e per ciò siccome posto al fuoco un metallo, prima di fondersi questo si ossida, la fusione non suole avvenire alla temperatura indicata nelle tavole, ma ad un'altra più elevata. Qualche volta poi la fusione è aiutata dalla presenza di altre sostanze, le quali perciò si appellano *fondenti*, tali sono la potassa e la soda riguardo alla silice, a cui si sogliono mescolare nella fabbricazione del vetro. Si noti ancora, esservi una differenza tra la fusione dei corpi buoni e cattivi conduttori del calorico (683); poichè i primi si fondono in un sol tratto, i secondi un poco alla volta; il che avviene perchè in questi ultimi il calorico non può facilmente internarsi e portare contemporaneamente tutta la massa alla temperatura della fusione.

527. Calorie di fusione. — Nel fondersi d'un solido avviene un fenomeno degno di considerazione, ed è che in tale passaggio di stato d'aggregazione una grande quantità di calorico rendesi insensibile, non dà cioè più segni di sè nel termometro. Siccome si riteneva, che il detto calore rimanesse nascosto nel liquido; veniva chiamato calorico *latente* o *combinato di liquidità*. Si vedrà nella teoria dinamica (633), che tale calorico si è convertito in lavoro meccanico, ed ha servito a disgregare le molecole del solido; ond'è meglio chiamarlo coi moderni fisici *calorie di fusione*. Il suddetto fenomeno si può così sperimentare. Ad un chilogramma d'acqua liquida a zero gradi si mescoli un altro chilogramma di acqua a 79°. Osservata la temperatura della miscela si trova essere di 39°,5, essendosi equilibrate le due temperature: ma se invece prendasi un chilogramma di gelo a 0°, e su di esso si versi un chilogramma d'acqua a 79°; il gelo si liquefà, e la temperatura della miscela trovasi esser zero. Adunque le 79 calorie (vedremo (602) dirsi *caloria* il calore necessario ad aumentare d'un grado la temperatura d'un chilogramma di acqua) si sono rese latenti, hanno cioè servito a liquefare il gelo. Possiamo pertanto conchiudere, che per sciogliere un chilogramma di gelo vi abbisognano 79 calorie, come meglio si dirà in altro luogo (611).

Essendo così grande la quantità di calorico che fassi latente nella fusione della neve, non ci deve recare meraviglia il vedere, che tanto stenti la neve a fondersi anche ad una temperatura atmosferica alquanto elevata. Ammirare dobbiamo in ciò la sapienza del Creatore, che in tal modo, impedendo il rapido scioglimento delle nevi, ci libera dai gravissimi danni, che proverrebbero dallo straripare dei fiumi.

Proviene pure dal calorico, il quale si fa latente, che allorquando un solido si fonde, la temperatura rimane stazionaria finchè tutto il solido non si è fuso, mentre le calorie somministrate dalla sorgente calorifica servono solo ad effettuare la fusione, la quale sarà tanto più rapida quanto maggiore è la quantità di calore che dalla sorgente è somministrata.

Le calorie di fusione sono diverse per le diverse sostanze; per

lo spermaceti, secondo le esperienze di Black vi abbisognano calorie 89,9, e 102,7 per la cera.

528. Soluzioni. — Un corpo non solo può liquefarsi per fusione, ossia per aumento di temperatura, ma anche per *soluzione*, che ha luogo quando si liquefà un solido per effetto di affinità che si esercita tra le sue molecole e quelle di un altro corpo, il quale dicesi *solvente*. Si appella con tal nome una sostanza, che avendo una grandissima affinità con un altro corpo solido vince la forza che tiene collegate fra loro le molecole di questo, sicchè l'obbliga a liquefarsi, affinchè l'unione fra i due corpi succeda in molti punti, cioè molecolarmente. L'acqua, ad esempio, è un solvente della gomma arabica, dello zucchero e della maggior parte dei sali. Non si creda però, che nelle soluzioni non sia necessario l'assorbimento del calorico; poichè quando esse succedono, sempre il calore fassi latente come nella fusione, ossia si converte in lavoro meccanico, disgregando le molecole del solido: e siccome non vi è una sorgente calorifica, così le sostanze che si sciolgono, tolgono il calore ai recipienti ed all'aria ambiente, e fanno ancora latente il proprio calore, cosicchè la massa liquida che risulta può discendere a molti gradi al disotto dello zero. Il miscuglio delle sostanze, il quale produce tal fenomeno prende il nome di *miscela frigorifera*. Ecco alcuni di tali miscugli.

Solfato di soda parti in peso 8, ed acido cloridrico parti 5, raffreddano da $+10^{0}$ a -17^{0};

Ghiaccio frantumato o neve parti 2, sal marino parte 1, raffreddano da $+10^{0}$ a -18^{0};

Solfato di soda parti 3, acido azotico allungato parti 2, raffreddano da $+10^{0}$ a -19^{0};

Solfato di soda parti 6, azotato d'ammoniaca parti 5, acido azotico parti 4, raffreddano da $+10^{0}$ a -26.

Si potrebbe obbiettare: se nelle soluzioni fosse sempre necessario un assorbimento di calore, in ogni soluzione si dovrebbe avere un abbassamento di temperatura: invece insegna l'esperienza, in molte soluzioni aversi al contrario un aumento di temperatura. Si risponde che nelle soluzioni si producono due effetti simultanei contrarii: il primo è il passaggio dallo stato di solido a quello di liquido del corpo che si scioglie, il che dà origine ad assorbimento di calorico: il secondo è la combinazione del corpo liquefatto col solvente, la quale combinazione sviluppa calore. Ora secondo che predomina uno dei detti due effetti, od ambedue sono eguali, vi sarà od un abbassamento od un innalzamento di temperatura, ovvero questa rimarrà inalterata.

Dopo il detto è cosa facile lo spiegare quel freddo interno che si prova subito preso il pasto, provenendo ciò dalla sottrazione di calorico, che avviene nell'interno dello stomaco durante la soluzione del cibo nei sughi gastrici.

Colle miscele frigorifere si può ottenere in qualunque stagione il ghiaccio, tanto utile nelle cure mediche, per mezzo di un apparato detto il *ghiacciaio delle famiglie*. Consiste questo in un recipiente metallico di forma cilindrica diviso in quattro scompartimenti concentrici. Nello scompartimento centrale si versa l'acqua

da congelarsi, nel successivo si pone una miscela frigorifera formata di una soluzione di solfato di soda nell'acido cloridrico, nel terzo si pone pure acqua da congelarsi, e nell'ultimo un corpo poco conduttore del calorico, ad esempio cotone, destinato ad opporsi all'assorbimento del calorico esterno. Per mezzo di questo apparato con 6 chilogrammi di solfato di soda e 5 di acido cloridrico si possono avere in un'ora 5 o 6 chilogrammi di ghiaccio.

529. Abbassamento del punto di fusione del ghiaccio per la pressione. — Siccome i solidi nel liquefarsi si dilatano, se questi siano sottoposti ad una forte pressione si fondono ad un grado di calore più elevato del solito, come ha verificato Bunsen nella parafina e nello spermaceti, e ciò perchè la pressione, opponendosi alla dilatazione, si oppone alla fusione. Si vide però (517). che il ghiaccio nel fondersi diminuisce di volume, onde deve dirsi, che una forte pressione, aiutando l'addensamento, deve facilitare la fusione del ghiaccio facendola succedere ad una temperatura più bassa. Ciò ha verificato Thomson, e meglio ha dimostrato Mousson il quale ha potuto fondere il ghiaccio alla temperatura di —20° col seguente apparato. Un cilindro di ferro ad erte pareti può esser chiuso in un suo estremo con un turacciolo di metallo a vite. Per l'altro estremo si può introdurre più o meno nel suddetto un altro cilindro massiccio d'acciaio per mezzo di una vite mossa con una manovella. S'imbocca il cilindro massiccio nell'altro cavo, cominciando a girare la vite, e quindi tolto il turacciolo, che chiude l'altro estremo, e posta la bocca aperta in alto, vi si pone dentro una palla di metallo, e poi vi si versa acqua. Il vaso in questa posizione è posto in una miscela frigorifera, ed allorchè l'acqua si è congelata si ripone il turacciolo a vite. Si capovolge di poi l'apparato, e tenendolo sempre nella detta miscela, si gira la vite superiore, onde introducendosi con ciò di più il cilindro massiccio, questo produrrà una grande pressione sul ghiaccio. Aprendo l'apparecchio si trova che la palla metallica si è portata nella parte opposta a quella, in cui era stata messa; la qual cosa manifestamente dimostra, che durante la pressione, non ostante la bassa temperatura, il ghiaccio si è fuso, ed è tornato allo stato solido, quando la pressione è cessata.

530. Ricongelamento. — Notò Faraday, che quando due pezzi di ghiaccio a zero gradi colla loro superficie umida sono messi a contatto, si saldano insieme, mentre se sono asciutti non si uniscono, al quale fenomeno si dà il nome di *ricongelamento*. Quando i due pezzi di ghiaccio stanno in contatto ha luogo il ricongelamento, ancorchè l'aria esterna sia a 25° o 30°. Proviene dal ricongelamento il fenomeno a tutti noto, cioè che la neve asciutta non si può colla pressione ridurre ad una massa, alla quale, e ben compatta, essa si riduce colla pressione, quando sia umida. Tyndal ha fatto intorno a ciò belle esperienze. Prese una sfera di ghiaccio trasparente, e la pose in un ambiente caldo sotto ad un piccolo torchio idraulico (87) fra due pezzi di bosso lavorati in modo da fare una cavità lenticolare. Il ghiaccio si ruppe, ma seguitando la pressione, ricongelò, ed in meno di un minuto fu convertito in una massa di forma lenticolare trasparente. Questa massa era in seguito por-

tata in un'altra cavità di bosso cilindrica ed a lasse pareti, e nuovamente sottoposta alla pressione, per la quale si schiacciò e si ridusse ad una focaccia piana e trasparente, la quale messa in una cavità emisferica praticata nel bosso, ed assoggettata alla pressione di un tappo, che quasi empiva la cavità, anche questa volta si schiacchiava, e dopo pochi secondi si riuniva, formando una trasparente coppa.

Tomson ha voluto spiegare il ricongelamento col dire, che comprimendosi fra loro i due pezzi di ghiaccio umidi, dalla pressione si dà luogo ad un abbassamento del punto di fusione: fondendosi quindi le parti, che mutuamente si premono, una quantità di calorico deve farsi latente; il qual calore si viene a perdere dallo strato di acqua interposto, che per conseguenza si congela. Non sembra essere ammissibile tale spiegazione, perchè, come abbiamo indicato, può avvenire il ricongelamento anche senza pressione fra due pezzi di ghiaccio posti in un ambiente riscaldato a 30° od immersi nell'acqua tiepida.

531. Ghiacciai — Il ricongelamento dà forse spiegazione al movimento dei *ghiacciai*, col qual nome sono indicate quelle vaste accumulazioni di ghiaccio, che riempiono le alte vallate delle catene montane, e che possono rassomigliarsi a veri fiumi di ghiaccio. Vi sono dei ghiacciai il cui volume supera i ventimila milioni di metri cubi. Tali immense masse non sono immobili, ma bensì animate da un movimento lento di discesa poco sensibile all'occhio ma continuo, e che in alcune è di metri 0,5 al giorno. A spiegare tal movimento del ghiacciaio Altman e Gruner dettero una teoria, la quale essendo stata ripresa e svolta da Saussure viene detta *Teoria di Saussure* o *teoria per scivolamento*. Eccola in poche parole: La base sulla quale il ghiacciaio riposa è un piano inclinato su cui la massa sovrapposta deve scivolare continuamente a motivo del proprio peso. È per questo moto di discesa, che vedesi continuamente la parte terminale del ghiacciaio avanzarsi nelle basse valli, dove l'elevata temperatura liquefà i ghiacci, che vanno ad alimentare i fiumi, mentre al limite superiore si accumulano nuove nevi, che con il loro peso obbligano gli strati inferiori ad avanzarsi anch' essi. A questa dottrina un' altra ne oppose Charpentier, la quale appellasi teoria *per dilatazione*. Convinto Charpentier, che la temperatura interna di un ghiacciaio possa discendere notevolmente sotto zero, ne inferiva che l'acqua d' infiltrazione, qualunque fosse la sua provenienza, introducendosi nelle numerose fessure e condotti capillari, e congelandosi, vi doveva per la sua proprietà di dilatarsi nell' atto della congelazione produrre una dilatazione sollecitante la massa nel senso della minore resistenza, cioè appunto nel senso della discesa. Ad ambedue queste teorie l'inglese Forbes oppose una terza detta teoria della *viscosità*. Come Saussure così Charpentier, dice Forbes, suppongono che il ghiaccio sia una materia dura, rigida, incompressibile; mentre invece è un corpo plastico, viscoso, comparabile al miele, al catrame, alla pece semiliquida. Infatti si vede che il ghiaccio si modella nel letto di granito che lo racchiude, contraendosi dove il letto si restringe, e dilatandosi dove questo si dilata. Quindi è, che il ghiacciaio

scorre, secondo Forbes, come scorre la lava per il dorso dei vulcani. Tyndal non vuole ammettere che il ghiaccio sia viscoso, mentre anzi presenta tutti i caratteri dei corpi duri; e se il ghiacciaio prende la forma della valle che lo contiene, lo fa spezzandosi con mille fessure, le quali assumono talvolta le proporzioni di sterminate voragini. Ritiene pertanto Tyndal, che il ghiacciaio sia spinto in avanti per il peso delle parti superiori, e rompendosi in mille guise, si foggi sulla forma della valle che lo contiene, tornando ad essere compatto mediante il ricongelamento dell'acqua che vi è filtrata: in una parola, secondo Tyndal, avviene naturalmente nel ghiacciaio ciò che egli otteneva nelle forme di bosso.

532. Solidificazione. — Se ad un liquido si sottrae un poco alla volta il calore, si vede, che allorquando esso giunge a quel grado, in cui dallo stato solido era passato a quello di liquido, torna ad esser solido. Vi sono però delle cause, che possono ritardare la solidificazione dei liquidi, facendola avvenire ad una temperatura più bassa del punto di fusione. Parlando specialmente dell'acqua, è da sapersi, che la sua congelazione può essere ritardata dai sali, e da altre sostanze che essa tiene in soluzione: l'acqua marina, per esempio, si solidifica a — 2 ,5. Ma il punto di solidificazione anche dell'acqua pura può essere abbassato di parecchi gradi, quando sia priva d'aria e tenuta perfettamente immobile e lontana da ogni agitazione. De-Luc ottenne ciò nel modo seguente: ha posto acqua in un vaso circondato da miscela frigorifera, ed avendo collocato il tutto sotto la campana della macchina pneumatica, ha estratta l'aria, che era sciolta nell'acqua, ed ha veduto mantenersi questa limpida alla temperatura di — 12°. Allorchè l'acqua è contenuta in un vaso capillare, può raffreddarsi fino a — 17° senza congelarsi, e da ciò proviene che spesso passa l'inverno senza che si congeli l'acqua contenuta nei tubi capillari delle piante. Dufour ha osservato, che si può mantenere l'acqua liquida al di sotto dello zero col sospenderla in mezzo ad un altro liquido della medesima densità, qual sarebbe una miscela di cloroformio ed olio di mandorle in idonee proporzioni, esponendo il tutto al freddo d'una mescolanza frigorifera. Il contatto con un pezzo di ghiaccio produce l'istantanea solidificazione di quest'acqua, il che non sempre si ottiene, agitandola con una verga metallica.

La solidificazione avvenuta per un rapido raffreddamento nel vetro presenta un fenomeno, che è bene considerare. Se si lascino cadere nell'acqua fredda grosse goccie di vetro fuso, la solidificazione di questo è immediata, producendosi così le *lagrime bataviche*. Se si prenda una di queste e si rompa l'estremità della coda, di cui è fornita, nell'istante stesso tutta la lacrima scoppia, e si riduce in polvere. Ciò avviene perchè allorquando la goccia di vetro cade nell'acqua fredda, prima di tutto si raffredda e si solidifica il suo estremo inviluppo: il raffreddamento delle molecole interne e la consolidazione dell'intera massa si operano più lentamente. Siccome poi le molecole interne sono aderenti alle esterne, non possono più andare a prendere quella vicendevole distanza, che ad esse competerebbe nell'atto della loro congelazione se fossero libere. Si trovano adunque in uno stato anormale e forzato. Pertanto per poco che

si rompa l'involucro esterno, che le obbliga a stare in quella forzata posizione, tutte si disgregano, e la lagrima va in frantumi. Generalmente se il vetro fuso non si raffredda lentamente, nel solidificarsi prendono le sue molecole una posizione anormale, e la massa diviene molto fragile, ed è per questa ragione, che tutti gli oggetti di vetro dopo la loro fabbricazione debbono essere ricotti, cioè riscaldati ad un certo grado, e raffreddati lentamente, affinchè le molecole abbiano tempo di prendere la loro posizione naturale.

533. Cristallizzazione. — Se la solidificazione invece di essere rapida sia assai lenta, ed il liquido si mantenga in perfettissima quiete, avviene un altro fenomeno, vale a dire il corpo *si cristallizza.* Le molecole dei corpi non solo hanno tendenza d'unirsi fra loro per l'attrazione molecolare, ma tendono ad unirsi in certa maniera piuttosto che in altra, ossia hanno tendenza a pigliare certe vicendevoli posizioni piuttosto che altre. Se pertanto un corpo sia sciolto in un liquido, o pure sia fuso, e se nel primo caso si faccia evaporare rapidamente il liquido, e rapidamente depositare il corpo sciolto, o se nel secondo caso abbassando istantaneamente la temperatura, si faccia il corpo rapidamente solidificare, le molecole in ambedue i casi si rappiglieranno confusamente, poichè disturbandosi a vicenda, e non avendo tempo di prendere la normale posizione, che ad esse compete, obbediscono all'attrazione molecolare in quanto al solidificarsi, ma non nel modo, a cui le determinerebbe l'attrazione stessa secondo la loro natura. I corpi le cui molecole si sono rappigliate confusamente e senza ordine si dicono *amorfi.* Che se al contrario la precipitazione è lenta e tranquilla, od il raffreddamento è pur lento, ed il liquido non è agitato, allora le molecole hanno tempo di prendere posizioni regolari e simmetriche varie fra di loro secondo la natura della sostanza. I corpi, le cui molecole si sono disposte simmetricamente, si dicono *cristalli*, e si appella *cristallizzazione* l'operazione, mediante la quale i cristalli si formano. Perchè adunque un corpo si possa cristallizzare è necessario che le molecole non siano aderenti fra loro, ma il corpo sia sciolto in un liquido, il quale si faccia di poi evaporare, ovvero sia fuso e si faccia lentamente raffreddare. Nel primo caso si dice che la cristallizzazione avviene *per via umida*, nel secondo *per via secca.* Può inoltre avvenire la cristallizzazione *per sublimazione*, cioè col rappigliarsi e consolidarsi i vapori emessi da un corpo.

534. Produzione del calorico nella solidificazione. — Quando col metodo di De-Luc di sopra accennato (532) si sia portata l'acqua a — 10°, o a — 12°, se questa venga alquanto agitata, in un istante si congela e subito la sua temperatura s'innalza allo zero. Da che proviene il calore che ha cagionato questo istantaneo aumento di temperatura? Rispondiamo, esso nascere dal calorico latente di liquidità (527), il quale nell'atto di solidificazione del liquido torna ad esser libero. Che veramente nel consolidarsi di un liquido il così detto calorico latente facciasi di nuovo libero, ne abbiamo altre prove. Empiuta una bottiglia d'una soluzione satura di solfato di soda, vi s'immergano piccoli cristalli dello stesso sale. Questi determinano colla loro attrazione le molecole vicine ad unirsi con loro, e le molecole unite agiscono egualmente sulle altre, e

così l'intera soluzione si solidifica ad un tratto, e la bottiglia fortemente si riscalda. Se in un recipiente si ponga dell'acqua, in cui sia immerso un termometro, e le si tolga calorico gradatamente, il termometro andrà segnando temperature sempre minori, finchè non giunge a zero. In questo punto l'acqua comincia a congelarsi, ma il termometro rimane costantemente fermo allo zero finchè, proseguendo a sottrarsi calorico, tutta la massa acquea non siasi solidificata, perchè le successive perdite di calore rimangono pienamente compensate dallo sprigionamento di calorìe di fusione. Quando poi tutta l'acqua si è congelata, il termometro ricomincia a discendere per le ulteriori detrazioni di calore. Si comprende dopo ciò il perchè nell'inverno l'acqua non si congela che lentamente un poco alla volta. Consolidandosi l'acqua che trovasi alla superficie di livello, sprigiona calorico, il quale innalza alquanto la temperatura dello strato d'acqua sottoposto, che per conseguenza non potrà consolidarsi, se non quando avrà perduto l'acquistato calore, e così via via.

CAPO VI.

PASSAGGIO D'UN CORPO DALLO STATO LIQUIDO AL GASOSO E VICEVERSA

535. Ebollizione. — Messo un liquido in un recipiente aperto, dopo un certo tempo si trova essere il liquido scomparso; il che dimostra essere il liquido passato allo stato gasoso, ossia essersi convertito in vapore. Tale passaggio poi può effettuarsi o per *ebollizione* o per semplice *evaporamento*. Ora parliamo dell'ebollizione.

Posta una sorgente calorifera sotto ad un vaso contenente acqua od un altro liquido, gli strati che prima si riscaldano sono quelli che stanno a contatto o vicini al fondo, i quali riscaldandosi si dilatano, divengono più leggeri, e quindi si elevano nella massa li-

quida, cedendo il posto agli strati più freddi, che essendo per ciò più pesanti cadono in basso, ed alla loro volta si riscaldano, si dilatano e si sollevano, mentre altri strati più freddi si abbassano, e così di seguito. Questo moto si suole chiamare *moto idrostatico*, il quale può rendersi visibile, col far riscaldare l'acqua collocata in un vaso di vetro, ed a cui siasi mescolato un pulviscolo del medesimo peso specifico dell'acqua, come sarebbe la limatura di quercia. Seguitando a scaldare il liquido, si comincia ad udire un rumore, e piccole bolle di vapore si formano verso il fondo e cominciano ad elevarsi, ma imbattendosi in strati liquidi più freddi, si condensano prima di giungere alla superficie di livello, producendo il detto rumore. Riscaldandosi intanto di più tutta la massa liquida, finalmente le bolle più numerose di prima possono giungere alla superficie di livello, dove crepano, sprigionando gran quantità di vapore. Allora tutta la massa è in grande movimento ed il rumore è molto più forte, e dicesi che il liquido *bolle*. È cosa ben facile a comprendersi, che le bolle di vapore, onde non abbiano ad infrangersi nell'interno della massa liquida, debbono avere almeno una tensione eguale alla pressione esercitata dal liquido circostante, e che è eguale al peso dell'atmosfera più quello della colonna liquida, che trovasi al disopra di esse bolle. Immaginando che il recipiente sia basso, sicchè possa trascurarsi il peso della colonna liquida, si dirà, allora aver luogo l'ebollizione, quando la temperatura del vapore sia tale, che la tensione di esso, la quale, come vedremo (566), cresce colla temperatura, sia eguale alla pressione, che si esercita sulla superficie di livello del liquido. Ad esempio, l'acqua posta in un vaso piatto sotto una pressione di 76 centimetri bolle a 100°, perchè a tale temperatura la tensione massima del vapore acqueo è precisamente di 76 centimetri.

536. Punto di ebollizione. — La temperatura, in cui un liquido incomincia a bollire, dicesi *punto di ebollizione*, il quale è assai vario per i diversi liquidi, perchè molto varia è la tensione dei varii vapori ad una data temperatura (561). L'acqua, ad esempio, alla pressione di 76 centimetri bolle a 100°; alla medesima pressione bollono l'etere idroclorico ad 11°, l'etere nitrico a 21°, l'etere solforico a 38°, l'alcool a 79°,7, lo zolfo a 299°, l'acido solforico a 310°, l'olio di lino a 310°, il mercurio a 350°. Per molte cause il punto di ebollizione d'una sostanza può variare, e queste ora andiamo a considerare.

537. Influenza della pressione sull'ebollizione. — Chiaro risulta dall'esposto, che la pressione atmosferica ha una grande influenza sul punto d'ebollizione, cosicchè crescendo quella dovrà aumentarsi la tensione del vapore, perchè questo possa sollevarsi; e perciò deve portarsi il liquido ad una temperatura più elevata, onde possa bollire. Siccome quanto più ci solleviamo nell'atmosfera, tanto minore è la pressione di questa; così deve avvenire, che i liquidi bollano nella sommità dei monti ad una temperatura più bassa di quella, in cui l'ebollizione ha luogo al livello del mare. Ciò fu verificato da Saussure, il quale vide bollire l'acqua a soli 86° alla cima del Monte Bianco. Si è poi conosciuto, che per ogni decremento di pressione di 27 millimetri il punto di ebollizione dell'acqua decresce

d'un grado. Si è utilizzata questa legge per conoscere l'altezza d'un luogo, a cui ci eleviamo nei viaggi in montagna, deducendo tale altezza dal punto di ebollizione dell'acqua in quel luogo. Bisogna però avere un termometro, che segni i decimi ed anche i ventesimi di grado, poichè l'errore d'un decimo importerebbe un errore di mm. 2,7 sulla pressione; per ciò è da preferirsi a tal uso il barometro (177).

Diminuita artificialmente la pressione, si abbassa sempre più il punto d'ebollizione. Posta dell'acqua in un basso recipiente, e collocato questo sotto la campana della macchina pneumatica contenente una sostanza igrometrica, capace cioè di assorbire i vapori acquei che si producono, e fatto quindi il vuoto; l'acqua si pone a bollire anche alla temperatura ordinaria, quantunque sia bassa. Si ottiene questo medesimo fenomeno ancora col bollitore di Franklin. È questo un piccolo apparato, che si compone d'un tubo di vetro orizzontale, e che, ripiegato in due punti ad angolo retto, presenta due rami verticali, uno più corto, l'altro più lungo, i quali terminano in due palle cave. Quella, che appartiene al ramo più corto è chiusa, ma l'altra termina nella parte superiore con un tubetto assai affilato ed aperto. S'introduce per quest'apertura dell'acqua, che empia l'altra palla, il tubo orizzontale, ed ascenda ancora nel ramo della palla aperta, senza però che giunga in questa. Dopo ciò si fa bollire l'acqua, riscaldando con una fiaccola a spirito la palla chiusa, e quando si conosce, che il vapore prodotto dall'ebollizione ha discacciata tutta l'aria dall'apparecchio, si chiude alla lampada l'estremità del tubo affilato. Sopra la superficie dell'acqua nel ramo più lungo non si contiene più aria, ma solamente vapore acqueo, che, come vedremo (562), alla temperatura ordinaria esercita una piccolissima pressione. Basta quindi toccare la palla del ramo più corto colla mano per fare bollire per breve tempo l'acqua nella superficie libera. Riesce più sorprendente il fenomeno, operando in quest'altro modo. Si faccia bollire l'acqua in un matraccio a lungo collo, e quando il vapore ha scacciato l'aria, si chiuda la sua bocca con un turacciolo, e capovoltolo, s'immerga il suo collo in un altro vaso contenente pure acqua. Se si versi acqua fredda sulla parte esterna superiore del matraccio, ricomincia l'ebollizione, che sarà assai viva; e la ragione di ciò è, che l'acqua versata raffredda e per conseguenza condensa il vapore precedentemente formato, che per tal motivo non può più premere sul liquido. Che se invece di gettare acqua fredda sopra al matraccio, vi si getti acqua bollente, subito cessa l'ebollizione interna, perchè aumentatasi la temperatura del vapore, si aumenta la sua tensione, la quale rende ben grande la pressione sul liquido.

538. Digestore di Papin. — Accrescendosi adunque la pressione sopra la superficie del liquido, si ritarda l'ebollizione in modo da mantener l'acqua allo stato liquido ad una temperatura assai elevata. Ciò si ottiene per mezzo d'un semplice apparato ideato da Papin, e che consiste in un vaso cilindrico di metallo ad erte e robuste pareti, munito d'un coperchio che perfettissimamente lo chiude, e che è tenuto ben fermo per mezzo d'una vite di pressione: è poi fornito d'una valvola di sicurezza (580), onde eliminare il pericolo

della rottura del vaso per soverchia tensione del vapore. Scaldando l'acqua contenuta in detta pentola, il vapore che si solleva, e che rimane incarcerato tra la superficie dell'acqua ed il coperchio, sempre più si addensa, onde sempre più cresce la pressione, che esercita sull'acqua, la quale per ciò non può bollire, e quindi rimane allo stato di liquido anche ad una temperatura di 300° e 400°. Se in quest'acqua vi fossero poste preventivamente delle ossa, queste a quell'alta temperatura si ammollirebbero, e la loro sostanza gelatinosa, sciogliendosi, convertirebbe l'acqua in gelatina. Che se invece vi fossero immersi dei pezzi di stagno o di piombo si troverebbero fusi; il che ha fatto dare alla pentola di Papin il nome di *Digestore*.

539. Influenza dei corpi sciolti e della sostanza del vaso. — Il punto d'ebollizione d'un liquido rimane ancora variato dalle sostanze, che sono immerse nel liquido stesso. Difatti le soluzioni nell'acqua dello zucchero e dei sali ritardano l'ebollizione, perchè, come osserva il Belli, le particelle del liquido, le quali spinte dal calorico tendono a partire dalla massa liquida, rimangono fermate nella massa dalle particelle sciolte in essa per la grande affinità che hanno con queste. Ad esempio, l'acqua satura di sale comune si pone in ebollizione alla temperatura di 108°. Che se l'acqua sia saturata di cloruro di calce, il suo punto d'ebollizione si eleva a 179°. Al contrario se al liquido si mescoli una sostanza gasosa, o corpi porosi, come sono le polveri di pomice, di vetro, il cotone e simili, che contengono aria od altro gas nei loro interstizi, l'ebollizione rimane facilitata, perchè l'aria, o gas contenuti per l'aumento di temperatura sollevansi in bolle alla superficie di livello, e così coadiuvano il movimento del liquido ed aiutano il vapore a vincere la pressione atmosferica.

Da ciò proviene, che la materia, con cui è formato il vaso, influisce sul punto d'ebollizione. Si sa difatti, che l'acqua nei vasi metallici bolle ad una temperatura minore di un grado a quella, in cui bolle in un vaso di vetro. L'acqua ha più affinità col vetro, che coi metalli, e perciò il vetro trattiene le molecole che sarebbero spinte via dal calorico. Di più l'acqua aderisce perfettamente alle pareti del vaso di vetro, ma non già alle pareti dei recipienti metallici: ond'è che la sottilissima falda d'aria posta fra l'acqua e la superficie interna del recipiente metallico facilita per la ragione detta di sopra la partenza del vapore. Che se un vaso di vetro sia stato di recente lavato con acido solforico, sarà più perfetto il contatto dell'acqua colle sue pareti, ed il punto d'ebollizione verrà innalzato fino a 105°.

540. Influenza dei gas nell'ebollizione. — È grande adunque l'influenza, che un gas sciolto nel liquido esercita sul punto d'ebollizione. Si osservi difatti, che quando l'acqua sta per bollire in un vaso metallico, l'aria che era disciolta in essa si fa libera e sotto forma di piccole bolle si porta a contatto della superficie metallica, colla quale ha l'aria aderenza. Queste bolle saturandosi di vapore, vanno sempre più ingrossando, e finalmente si sollevano e si rompono alla superficie di livello. Ma tale influenza dell'aria si rende più manifesta con i seguenti esperimenti. Donney ha introdotto in

un tubo di vetro *d b* (fig. 285) ricurvo e terminante in un estremo in più bolle una quantità d'acqua, che aveva fatta per molto tempo bollire, e dopo di avercela introdotta l'ha fatta bollire di nuovo. Quando i vapori acquei hanno discacciato del tutto l'aria dal tubo, ha chiuso questo ermeticamente colla lampada. Essendo in tal modo sicuro, che l'aria non era più nell'acqua contenuta, ha immersa la parte curva *b* del tubo in un bagno d'olio C riscaldato a 140°, ed ha veduto che l'acqua a quell'alto grado di calore non è entrata affatto in ebollizione. Scaldandosi di più il bagno, la colonna d'acqua si è violentemente divisa in più parti, perchè alcuni strati di essa si sono espansi in vapore, scagliando una quantità d'acqua entro le bolle *b*. Dufour ha posto una goccia d'acqua entro alla massa di un liquido del medesimo peso specifico di essa, ma tale che non si mescoli colla medesima. Rimasta la gocciola acquea sospesa nel posto, ove era stata collocata, ha scaldato il liquido fino a 170 senza che l'acqua vaporizzasse. Toccando però la goccia con un filo di metallo, o con un pezzo di legno, ai quali corpi una quantità d'aria sempre aderisce, l'acqua a contatto di questa aria si è posta rapidamente a bollire. Abbiamo veduto poco fa, che in un vaso di vetro lavato con acido solforico l'acqua si può portare fino a 105° senza che bolla. Ma Dufour per mezzo di due reofori di platino ha fatto passare attraverso del liquido una corrente elettrica, ed allora ha avuto luogo una viva ebollizione, la quale si suole ripetere dall'influenza dei gas ossigeno ed idrogeno nati dalla decomposizione dell'acqua.

541. Calorie di vaporizzazione. — Come quando un solido si fonde si rende insensibile al termometro una quantità di calore (527), così un'altra ben più grande quantità si rende insensibile nel passaggio di un liquido allo stato aeriforme, ed a questa quantità di calore chiamata fin qui *calorico latente di gaseità o di elasticità* si dà ora il nome di *calorìe di vaporizzazione*, perchè, come vedrassi in seguito, si trasmuta in lavoro meccanico, che disgrega le molecole del liquido (633). È per questo che durante l'ebollizione rimane sempre stazionaria la temperatura del liquido. Pongasi difatti acqua in un recipiente, e sottoposto a questo il fuoco, il liquido sotto la pressione di mm. 760 si porrà in ebollizione alla temperatura di 100°. Si seguiti pure a somministrare calorico al liquido, e non pertanto mai si otterrà di portarlo ad una temperatura più alta, poichè tutto il calorico che il liquido riceve serve a fargli prendere lo stato di vapore: ond'è che coll'aumentare l'energia della sorgente calorifica altro non otterremo che rendere l'ebollizione più rapida. Allorchè nella pentola di Papin (538) la temperatura dell'acqua si è innalzata a 300° o a 400°, si tolga il coperchio: tosto si vedrà sollevarsi una grande massa di vapore, rimanendo il restante liquido a 100°, perchè l'eccedente calore si è reso insensibile, convertendo in vapore una corrispondente quantità d'acqua. Vedremo in appresso (614), che per trasformare in vapore un chilogramma d'acqua sono necessarie oltre a 500 calorìe.

542. Evaporamento. — Accennammo (535) che non solo per ebollizione si converte un liquido in vapore, ma anche per evaporamento. Dicesi *evaporazione* od *evaporamento* il passaggio di un

liquido allo stato aeriforme, quando questo avvenga lentamente, a qualunque temperatura, e solo alla superficie libera del liquido. È per l'evaporamento che continuamente dalla superficie del mare, dei fiumi e dei laghi si solleva una quantità immensa di vapore acqueo, che quindi ricade sul suolo producendo le meteore acquee. I liquidi a qualunque grado di temperatura hanno una tendenza a convertirsi in vapore nella loro libera superficie, e la ragione è la seguente. Il convertirsi un liquido in gas, come tante volte abbiamo detto, dipende dallo spostamento delle molecole, spostamento prodotto dalla forza ripulsiva calorifica, la quale trova ostacolo nella forza di attrazione molecolare. Ora un piccolo esquilibrio tra le due forze avversarie, in cui riporti vittoria la ripulsione, basterebbe a convertire il liquido in vapore, se non vi fosse un altro ostacolo che ciò impedisce. Si considerino le molecole collocate nell'interno della massa liquida; esse nelle temperature inferiori al punto di ebollizione non potranno distaccarsi dalla massa per andare a formare il vapore, poichè rimanendo circondate da tutte le parti da altre molecole dotate della medesima forza ripulsiva, sono spinte in direzioni contrarie da forze eguali, che a vicenda si elidono. Non così avviene delle molecole collocate alla superficie di livello, le quali subendo dalle sottostanti una ripulsione che non è distrutta da una forza contraria, sono costrette a distaccarsi dalla massa ed a formare il vapore.

543. Cause che influiscono sulla quantità di vapore prodotta da un liquido. — La prima causa che influisce nella quantità di vapore, che in un dato tempo un liquido produce, è la natura del liquido stesso: poichè non tutti i liquidi tendono egualmente ad evaporare. Si empiano tre vasi eguali uno di etere, il secondo di alcool, ed il terzo di mercurio, e si espongano ad una medesima temperatura: osservati dopo qualche tempo, si vede, che l'etere si è in gran parte dileguato, di meno l'alcool, e quasi affatto il mercurio. In genere più evaporano quelle sostanze, le quali hanno più basso il punto d'ebollizione. Non solamente evaporano i liquidi, ma anche i solidi, come il gelo, la canfora, l'arsenico ed il jodio.

Dalle cose dette poco sopra si deduce che quanto più alta è la temperatura del liquido ed estesa la superficie di livello, tanto maggiore quantità di vapore devesi produrre, perchè più energica è la forza ripulsiva, e maggiore il numero dei punti evaporanti.

Ma la causa che più influisce nell'evaporamento è lo stato dell'aria sovrastante al liquido. I vapori che da questo si emettono, si mescolano all'aria atmosferica sovrincombente, ed il liquido seguita a decrescere per il successivo evaporamento, finchè l'aria non sia tanto carica di vapore da non poterne contenere di più, nel qual caso l'aria dicesi *satura di vapore*. Quando ciò avvenga, l'evaporamento dall'essere *efficace* passa ad essere *inefficace*, cioè se il vapore prosegue a sollevarsi, l'aria, non potendo contenerne di più, tanto ne riceve, altrettanto ne deposita, e questo torna allo stato liquido. Si noti poi, che la capacità dell'aria a contenere vapore cresce di molto col crescere della temperatura: onde è che se una massa d'aria satura di vapore si viene a riscaldare, non è più

tale, e l'evaporamento torna ad essere efficace. Viceversa poi se la massa d'aria si raffredda diventa soprassatura e tosto deposita l'eccedente vapore. È per questo motivo che i venti del sud sono umidi e secchi quelli del nord, e per la medesima ragione umidi sono i sotterranei nell'estate, asciutti nell'inverno. I panni bagnati, le vie ecc. si asciugano facilmente allorchè spira il vento, perchè questo rinnova continuamente gli strati, che sono ad essi a contatto, onde l'aria non mai giunge allo stato di saturazione, e l'evaporamento prosiegue ad essere sempre efficace.

544 Stufa a rapido evaporamento. — Ricorre spesso il caso, che si debba fare evaporare un liquido ad una data costante temperatura, ed allora si suole collocarlo in un vaso immerso in un bagno mantenuto a quel determinato grado di calore. Ma così operando, l'evaporamento, quando sia bassa la temperatura, è molto lento, tanto più che l'aria si va ben presto a trovar satura del vapore, che dal bagno si solleva. Ottimamente però si raggiunge lo scopo, usando *la stufa a rapido evaporamento* basata sugli esposti principii e fatta costruire dal ch. Gréhant. Un cilindro MM (fig. 286) a doppie pareti forma un vaso anulare in cui si versa acqua, la quale per mezzo del regolatore a gas (520) si mantiene a quella costante temperatura, a cui vogliamo abbia luogo l'evaporamento. Quest'acqua manterrà al detto grado di calore l'aria contenuta nello spazio Z racchiuso nel vaso. Un coperchio anulare copre l'acqua ed è saldato al vaso: ha poi tre tubulature, per una delle quali passa un termometro, per un'altra passa il regolatore a gas, e la terza è saldata ad un tubo inclinato, che può essere congiunto ad un serpentino circondato di acqua fredda, affinchè il vapore acqueo, attraversandolo, si condensi e liquefatto ritorni nel vaso anulare. Nel suddetto coperchio avvi inoltre un solco circolare in cui si incassa l'orlo inferiore di una specie di cupola DD, che è munita di un tubo T, nel punto G del quale vi è una corona di becchi a gas. I piedi P, P dell'apparato sono vuoti, hanno in basso una larga apertura laterale *o*, *o*, e penetrano fin dentro alla camera ad aria Z. Si scalda l'acqua del bagno e si pone nel fondo della stufa una capsula di forma piatta contenente il liquido che deve evaporare. Un disco di metallo C di diametro un poco minore di quello del cilindro si fa poggiare su tubi ricurvi *s*, *s* che si mettono in congiunzione colle aperture superiori dei piedi dell'apparato, mentre coll'altro estremo si immergono, ma di poco, nel liquido della capsula. Il detto disco porta una tubulatura che contiene una cannula *t* di vetro, la quale si abbassa fin quasi alla superficie del liquido. Si accende il gas in G, e si ottiene con ciò una corrente d'aria calda, che ascende per il tubo T. A ripienare il vuoto l'aria esterna entra per i fori *o*, agita il liquido nell'attraversarlo, onde questo si converte ben presto in vapore, il quale esce per il tubo centrale *t* e per lo spazio che circonda il disco C.

545. Freddo prodotto per l'evaporamento. — Per trasformare un chilogramma di liquido in vapore vi abbisognano tante calorìe di elasticità (541), quante se ne richieggono per effettuare un tale passaggio coll'ebollizione: mancando poi la sorgente che somministri queste calorìe, vengono esse tolte alla massa del li-

quido evaporante, al recipiente ed ai corpi vicini, i quali per conseguenza si raffreddano. Difatti si bagni di acqua o meglio d'etere solforico il bulbo di un termometro, e quindi si esponga ad una corrente d'aria: tosto vedrassi la colonna mercuriale discendere. Allorchè esciamo dal bagno, e dopo di aver sudato sentiamo freddo prodotto dall'evaporamento dell'acqua e del sudore che bagnano la pelle. Leslié giunse a congelar l'acqua per effetto di un rapido evaporamento. Egli pose dentro ad un recipiente formato con sottile lamina di rame ed aperto una piccola quantità d'acqua, il qual recipiente con i suoi tre piedi poggiava sopra ad un piatto, in cui era versato acido solforico monidrato. Collocato l'apparecchio sotto la campana della macchina pneumatica e fatto il vuoto, non soffrendo l'acqua alcuna pressione, rapidamente si pose ad evaporare. I vapori che si sollevavano non facevano pressione sul liquido, e per ciò non ritardavano il successivo evaporamento, perchè erano assorbiti dall'acido solforico; sicchè seguitando l'acqua ad evaporare rapidamente, perdeva tanto calorico che in fine si congelava. Adoprando altri liquidi più volatili dell'acqua e specialmente l'acido solforoso, si produce un freddo così intenso da congelare il mercurio. Si fa tale esperimento avviluppando di bambagia una sfera di vetro piena di mercurio: si inzzuppa la bambagia d'acido solforoso, e si pone il tutto sotto la campana della macchina pneumatica. Subito fatto il vuoto il mercurio si consolida. Thilorier, dirigendo un getto d'acido carbonico liquido contro il serbatoio di un termometro ad alcool, vide discender questo fino a — 100° senza congelarsi: ma Despretz con una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto, d'acido carbonico solido e di etere giunse a produrre un freddo così intenso da ridurre l'alcool alla consistenza di uno sciroppo. Bussy immergendo più volte il bulbo di un termometro nell'etere solforico, e quindi facendolo evaporare, potè congelare un miscuglio d'acqua e di alcool ivi contenuto. Il freddo prodotto dall'evaporazione è utilizzato nei paesi caldi per rinfrescare le bevande per mezzo degli *alcarazas*, col qual nome sono chiamati alcuni vasi di terra così porosi da permettere, che l'acqua filtri lentamente attraverso delle pareti, ed evapori nella superficie esterna, specialmente quando si collochino ad una corrente d'aria.

Il calorico che si fa latente nell'evaporamento del sudore è causa per cui un uomo possa reggere per qualche tempo ad un'altissima temperatura. Nel trascorso secolo Fordyce, Solander ed altri si esposero senza riportarne alcun nocumento alla temperatura varia da 92° a 128°. Moscati in Italia si cimentò per parecchi minuti ad un calore superiore a quello dell'acqua bollente, e lo stesso fece Tillet in Francia. Ma senza ricorrere ad apposite prove, si è osservato che i ragazzi abituati in alcuni luoghi a riscaldare i forni da pane potevano resistere per dieci minuti primi alla temperatura di 114°: e di più si è constatato, che gli operai destinati alla fusione del vetro resistono ad un grado di calore veramente sorprendente. In una fonderia fu posto un termometro lontano dalla fornace, ma nello spazio occupato dai fonditori, e questo indicò temperature varie da 158° a 163°. I fonditori hanno dei luoghi meno cocenti, dove si ritirano spesso durante il lavoro; ma essi sopportano quella tempe-

ratura per un certo tempo senza verun inconveniente, e mentre le loro vesti dopo qualche giorno bruciano, la loro cute non è intaccata dall'azione del fuoco. Ciò proviene da che l'alta temperatura eccita in questi individui un abbondante sudore, il quale evaporando rapidamente, fa latente una gran quantità di calore. L'uomo potrà quindi vivere esposto a cocenti temperature finchè avrà liquido per trasudare, e finchè l'aria non sarà satura di vapore. L'aria delle fonderie dei vetri è assai più rarefatta dell'esterna, e perciò si genera una continua corrente, e quindi l'aria, non rimanendo mai satura, facilita il proseguimento dell'evaporazione. Narra Maiocchi, che nello scorso secolo un tale Leonetto, dotato di grande facilità di sudare, dava spettacolo di sè nelle primarie città d'Europa, rimanendo per qualche istante entro ad un forno assai riscaldato. Un consimile fatto viene pure riferito dal ch. Cantoni.

546. Apparato Carré per la congelazione dell'acqua. — Sul freddo prodotto nell'evaporamento si è basato da Carré un apparecchio, con cui con grande facilità si ottiene il ghiaccio in qualunque stagione. Tale apparecchio consiste in due recipienti di ferro fuso a pareti molto erte. Uno di questi vasi è a pareti doppie, e lo spazio anulare da esse compreso comunica per mezzo d'un tubo colla capacità interna dell'altro recipiente, in modo che si abbia una sola cavità ermeticamente chiusa. Nel vaso non fornito di doppia parete si versa una soluzione concentrata d'ammoniaca, ed un termometro che può segnare 160° indica la temperatura interna di esso vaso. Sotto questo recipiente si accende il fuoco, mentre l'altro si tiene immerso nell'acqua, e quando la temperatura del primo è giunta a 160°, si estingue il fuoco, s'immerge esso vaso nell'acqua, ed estraendo dall'acqua il secondo, si pone entro al suo spazio centrale un recipiente pieno di acqua, la quale in breve tempo si gela. Ecco come avviene il fenomeno. I primi gradi di calore, che si danno al primo vaso, fanno evaporare non l'acqua, ma l'ammoniaca in essa sciolta. Cresce la temperatura, e cresce la quantità del vapore ammoniacale, che colla sua pressione impedisce la vaporizzazione dell'acqua (537). Il detto vapore ammoniacale, non avendo altro spazio da occupare che quello dell'apparecchio, si condensa sotto una pressione sempre più crescente. Quando il termometro segna 160° la pressione del vapore ammoniacale nell'apparecchio è già pervenuta a molte atmosfere, e questa pressione, come dirassi in seguito (548), costringe una parte dei vapori ammoniacali a tornare allo stato liquido; onde si otterrà ammoniaca liquida pura, che va ad occupare lo spazio anulare del secondo recipiente. I vapori tornando allo stato liquido sprigionano una grande quantità di calorico, come pure avremo da vedere (549), il qual calore è portato via dall'acqua, in cui il vaso è immerso. Disposto dopo ciò l'apparecchio nel modo che si è detto, ed estinto il fuoco, succede che l'acqua contenuta nel primo vaso si va a raffreddare, ed obbliga il vapore ammoniacale, che le sta a contatto, a disciogliersi in essa. In tal modo va di mano in mano scemando la pressione che si esercita sopra l'ammoniaca liquida; onde tal liquido, essendo volatilissimo, rapidamente ritorna allo stato gasoso, ed avendo per ciò bisogno di grandissima quantità di calore,

che deve farsi latente, lo ruba all'acqua, che sta nella parte centrale del vaso, la quale si gela.

547. Apparato di Richardson per l'anestesia locale. — Richardson ha immaginato un apparato col quale si ottiene l'anestesia locale, ossia l'insensibilità della pelle su d'una parte del corpo, che deve assoggettarsi ad un taglio, per mezzo del freddo prodotto dall'evaporamento dell'etere. La bocca d'un matraccio A (fig. 287) contenente dell'etere è chiusa da un turacciolo, il quale è attraversato da un tubo metallico MB ricurvo nella sua parte superiore che termina con uno strettissimo orifizio. Un altro tubo *t* è contenuto nel primo, ed in basso va quasi al fondo del vaso, mentre in alto termina con un foro strettissimo *o* ad una piccola distanza dall'apertura del tubo esterno. Quest'ultimo porta in C un tubo laterale, a cui si fissa una cannula di caucciù, che comunica con un soffietto di forma particolare a getto continuo. Consiste questo in un pallone S di caucciù a forma di pera ed a pareti molto erte, che è munito di due valvole *s*, *s'*, le quali si aprono dal basso in alto. La valvola *s'* comunica con un recipiente R pure di caucciù fisso al tubo C. Si stringe intermittentemente e con grande frequenza colla mano il soffietto S. Quando questo si estende per la sua elasticità, si empie d'aria, che entra da *s*; ma quando è compresso, l'aria passa per *s'* in R, che per la sua elasticità rende il getto aereo costante. La corrente d'aria giunta in C si divide, parte va in A a fare maggior pressione sull'etere, il quale ascende per lo stretto tubo *t*, ed esce per l'apertura superiore; e l'altra parte investe in B il getto di etere, lo spolverizza, cioè lo riduce in piccolissime goccioline, che subiscono un rapido evaporamento, il quale fa discendere la parte bagnata, in cui s'imbatte il getto, alla temperatura di — 15°, e così la pelle diviene insensibile.

In mancanza di questo apparato per spolverizzare i liquidi si può far uso dello *spolverizzatore* di Siegle consistente in due tubetti di cristallo, uno verticale, orizzontale l'altro. S'immerge il primo nel liquido, e si soffia con forza per il secondo. Si noti che i due tubi terminano in bocche strettissime, le quali stanno l'una vicino all'altra. L'aria soffiata, che va radendo la bocca del tubo verticale, produce in questo una specie di vuoto, onde il liquido si eleva nella cannula, ed uscendo dalla parte superiore, è spolverizzato dal soffio.

548. Liquefazione. — Come i liquidi si possono trasmutare in vapore, così un vapore si può liquefare o colla pressione, o col raffreddamento. Se con una pressione si tenti ristringere il volume d'un vapore, e questo si trovi diradato; esso si lascia comprimere come un altro gas, seguendo la legge di Boyle e Mariotte (179): ma quando ha raggiunto il massimo di densità, cosicchè lo spazio in cui è contenuto ne sia saturo, per un ulteriore ristringimento una parte del vapore torna allo stato liquido. Parimente, raffreddandosi un poco alla volta un vapore, si verrà successivamente addensando, finchè non giunga ad una tale densità da rendere saturo lo spazio, in cui si trova. Se allora si prosegue ad abbassare la sua temperatura, subito una parte di esso si liquefà, restandone allo stato gasoso una parte tale, che a quel grado di calore renda

saturo lo spazio. Per un altro ulteriore raffreddamento se ne liquefarà un'altra parte, e così di seguito.

549. Produzione calorifica nella liquefazione dei vapori. — Allorchè il vapore ritorna ad esser liquido, le calorìe di vaporizzazione (541) tornano ad esser libere; e da qui l'industria ricava un modo economico per riscaldare una massa d'acqua, che può essere contenuta anche in un tino di legno. Il vapore circola per un serpentino metallico immerso nell'acqua che si vuole scaldare. Il serpentino, essendo a contatto dell'acqua, trovasi a bassa temperatura, e perciò raffredda il vapore, che torna allo stato liquido, comunicando all'acqua il calorico, che era latente; ond'è che l'acqua aumenta di molto la sua temperatura.

550. Distillazione. — Sulla trasformazione del liquido in vapore per l'azione del calorico, e sulla condensazione dei vapori per raffreddamento è basata la *distillazione*, la quale è un'operazione, che ha per oggetto il separare un liquido volatile dalle sostanze fisse, che tiene in dissoluzione, o pure di separare due liquidi disugualmente volatili. A bordo dei vascelli si distilla l'acqua del mare per renderla potabile: l'acqua distillata si raccoglie, e nella caldaia rimane il sale. Perchè però l'acqua distillata sia veramente potabile, bisogna agitarla, onde assorba l'aria, e ci si deve sciogliere una piccola quantità di quei sali, che naturalmente l'acqua delle sorgenti contiene. Per distillazione pure si separa l'alcool dall'acqua nel vino, bollendo quello a 79° questa a 100°.

551. Lambicco. — Gli apparati usati per la distillazione si chiamano *lambicchi*, il più comune dei quali è formato delle seguenti tre parti: 1ª la *cucurbita* vaso di rame stagnato, che contiene il liquido, e che è scaldato per mezzo d'un sottoposto fornello: 2ª il *capitello*, specie di cupola, la quale poggia sulla cucurbita e permette il passaggio al vapore attraverso di un collo laterale: 3ª il *refrigerante*, che per lo più consiste in un serpentino, cioè in un lungo tubo di stagno o di rame avvolto ad elica, il quale è collocato in una vasca piena d'acqua fredda. Lo scopo del refrigerante è di condensare il vapore raffreddandolo: ma l'acqua in esso contenuta ben presto si scalda a motivo delle calorìe di vaporizzazione, che nel condensarsi del vapore si fanno libere, e perciò quest'acqua deve essere di continuo cambiata. A tal fine è bene introdurre acqua fredda di continuo nella vasca per mezzo d'un tubo, che vada a terminare vicino al fondo del recipiente: l'acqua calda, essendo più leggiera, andrà in alto, e si farà sgorgare per mezzo d'un altro tubo, che parte dalla vasca alla superficie di livello dell'acqua.

Quando si tratti di distillare una piccola quantità di liquido, l'ufficio della cucurbita e del capitello si esercita da una storta a lungo collo, ed il refrigerante è un tubo retto circondato da un altro tubo di vetro di diametro alquanto più grande, e chiuso da ambedue gli estremi con turaccioli, attraverso dei quali si fa passare una corrente di acqua fredda.

552. Distillazione nel vuoto. — Spesso avviene in fisiologia, che debbansi distillare liquidi, i quali non possono portarsi ad alta temperatura senza alterarsi. In tal caso bisogna distillarli nel vuoto, cosicchè l'ebollizione avvenga a bassa temperatura (537). In una

storta G (fig. 288) s'introduce il liquido da distillarsi per mezzo d'un imbuto. Il collo della storta leggermente affilato è unito per mezzo d'una connessura di caucciù ad un refrigerante M a tubo retto. La storta è collocata in un bagno, il quale è mantenuto costantemente a quella determinata temperatura, in cui vogliamo far succedere l'ebollizione. Il tubo refrigerante, che deve essere tenuto alquanto inclinato, comunica colla macchina pneumatica a mercurio (194), onde raccogliere il liquido nell'imbuto *e*.

553. Liquefazione dei gas. — Essendo i gas vapori assai dilatati, sono suscettibili di essere liquefatti; ma poichè sono assai lontani dal loro punto di liquefazione, non possono subire un tale passaggio che con pressioni e raffreddamenti ben considerevoli. Per alcuni gas basta la sola pressione od il solo raffreddamento; ma per la maggior parte di essi bisogna contemporaneamente porre in opera ambedue i mezzi.

554. Liquefazione del gas acido solforoso. — Si prepara il gas acido solforoso, riscaldando il rame immerso nell'acido solforico, ed essendo questo gas ben secco, con esso si empie un sacco di gomma elastica M (fig. 289) impermeabile, al quale è adattato un tubo R con chiavetta formato della medesima sostanza, e comunicante con un tubo BD di vetro piegato ad U, che in un estremo è chiuso, terminando in punta. Quest'ultimo tubo è immerso nel vaso L contenente un miscuglio frigorifero di sale marino e ghiaccio, la cui temperatura sia di — 20° (528). Comprimendo il sacco con il peso N, ed aprendo il robinetto, il gas si reca nel recipiente raffreddato, dove si trasforma in un liquido limpido, volatilissimo, di odore piccante e che bolle a circa — 10°. Per conservarlo bisogna chiudere alla lampada l'estremo B del tubo previamente affilato.

555. Liquefazione del gas acido-carbonico. — Thilorier ha liquefatto il gas acido-carbonico con un apparato, che consiste in due robusti vasi cilindrici eguali di ghisa, cerchiati di ferro battuto, e che possono oscillare intorno ad un asse orizzontale. In uno di questi vasi, detto il *generatore*, s'introducono due chilogrammi di bicarbonato di soda con acqua. In mezzo al bicarbonato si pone un recipiente cilindrico privo di coperchio, in cui si versa un poco più di un chilogramma d'acido solforico monidrato, facendo in tal modo star separati l'acido ed il sale. Si chiude il generatore con un coperchio tenuto ben forte per mezzo d'una vite, e si comunicano ad esso leggere oscillazioni, per le quali l'acido solforico poco a poco viene a cadere sul bicarbonato, che decomponendosi rende libero l'acido carbonico, il quale, rimanendo racchiuso in un piccolo spazio, fa tale pressione sopra se stesso da liquefarsi. È necessario che la detta reazione si faccia con una certa lentezza, perchè mentre essa succede si fa libera una grande quantità di calorico, il quale, come vedremo, potrebbe di molto accrescere la tensione del gas carbonico (563) e vi sarebbe grave pericolo di rottura del generatore. Basti il sapere che in questo il gas carbonico alla temperatura zero ha una tensione di 36 atmosfere, mentre a 40° a contatto d'un eccesso di liquido ha una forza elastica di 80 atmosfere. È adunque bene di fare in modo, che la reazione sia

lenta, concedendo tempo al calorico, che si va producendo un poco alla volta, di disperdersi nell'aria per mezzo delle pareti del generatore. Allorchè l'operazione è terminata si fa comunicare il generatore, mediante un tubo metallico munito ai due estremi di chiavette, coll'altro cilindro. Aperte le dette due chiavette, il liquido viene a distillarsi, cioè si riconverte in gas, passa all'altro vaso, ove rimane di nuovo compresso e torna allo stato liquido. Se s'introduce in questo secondo recipiente un tubo a chiavetta, in modo che una sua estremità s'immerga nel liquido, e l'altra sporga fuori del vaso, nell'aprirsi del robinetto ha luogo uno zampillo di liquido, il quale in parte evapora rapidamente, e facendo quindi latente una quantità grandissima di calorico, toglie questo all'altra parte, che per conseguenza passa allo stato solido sotto forma di fiocchi bianchi come neve. Per raccogliere l'acido carbonico solidificato, il suddetto zampillo si fa penetrare in una specie di scatola d'ottone, formata di due parti emisferiche facilmente separabili fra loro, e che si tengono in mano per mezzo di due manichi di legno forati e coperti all'esterno di panno, perchè il grande freddo non noccia alle mani. Il getto, che penetra nel detto recipiente per mezzo di un tubo quasi tangente alla superficie interna del vaso, s'imbatte in una lamina, che lo costringe a prendere un moto vorticoso, durante il quale una parte dell'acido carbonico si converte in fiocchi bianchi, mentre l'altra parte sfugge dai manichi. Aperta la scatola, si trova nel suo interno una massa d'acido carbonico solidificato, il quale ha una temperatura di — 78°, e può conservarsi in questo stato per qualche tempo, perchè la continua evaporazione, che ha luogo alla sua superficie, fa latente il calorico, e con ciò mantiene la rimanente massa a quella bassissima temperatura, non ostante l'alto grado di calore dell'aria ambiente. Mescolato l'acido carbonico solido coll'etere solforico, e fatta evaporare la miscela sotto la campana della macchina pneumatica, per il calore che fassi latente la temperatura della miscela discende a — 99° quando la pressione sia di 61 mm. ed a — 100° quando la detta pressione sia di soli 30 mm. È questa la temperatura più bassa, che siasi potuta fino ad ora ottenere.

556. Metodo di Faraday per liquefare i gas. — Faraday immaginò un metodo di compressione potente e semplice per liquefare i gas, e questo consiste nel racchiudere ermeticamente entro vasi a robustissime pareti le sostanze, che colla loro reazione chimica debbono produrre il gas, il quale si vuole liquefare. Trovandosi il gas accumulato in quantità enorme in uno spazio limitato e resistente, acquista una somma tensione, e da se stesso si comprime, onde si liquefà, e ciò più facilmente quando il tubo in cui trovasi il gas s'immerga in una miscela frigorifera.

557. Processo di Natterer. — Per rendere liquido il gas protossido d'azoto, Natterer costrusse un apparecchio, il quale può ancora servire per la liquefazione degli altri gas. La parte essenziale di esso è un serbatoio di rame, o meglio di ferro battuto cerchiato di anelli d'acciaio e capace di resistere ad una pressione di 600 o 700 atmosfere. Questo serbatoio riceve il gas mediante una tromba messa in moto da un volante. Da un lato la tromba aspira

il gas ben disseccato dai vasi, ove si ebbe cura d'accumularlo, dall'altro lo spinge nel serbatoio e ve lo comprime. Per impedire che la tromba ed il serbatoio si riscaldino soverchiamente nell'operazione, si circonda quest'ultimo di ghiaccio, e si fa passare intorno alla prima una corrente continua d'acqua fredda.

Un gas liquefatto con uno dei suddetti metodi, tostochè giunge in contatto dell'atmosfera libera entra in rapida ebollizione, producendo, come si è notato, un eccessivo freddo, il quale dà luogo ad effetti consimili a quelli generati da un estremo calore. Si ponga sulla cute una goccia di protossido d'azoto liquido: questo evaporando porta la temperatura a — 88°, e tosto il tessuto cutaneo rimane disorganizzato, come se fosse bruciato, e la sensazione è quella di una scottatura. Si comincia a provare lo stesso effetto nel tenere il vaso, in cui il suddetto liquido è contenuto.

558. Gas refrattari alla liquefazione. — Tutti i gas sono stati liquefatti ad eccezione dell'ossigeno, idrogeno, azoto, biossido d'azoto, ossido di carbonio e protocarburo d'idrogeno (*). Ma dovremo forse dire, che questi per la loro natura sono incapaci a liquefarsi? Certo che no, poichè un gas non differisce da un vapore se non perchè quello è in uno stato molto lontano dal punto di liquefazione. Dunque devesi conchiudere, che i detti gas si liquefarebbero quando noi sapessimo produrre pressioni tanto enormi e temperature così basse, quali si richiedono per produrre un tale effetto.

559. Esperienze di calefazione. — Prima di por fine al discorso sul passaggio di stato d'aggregazione dei corpi, è cosa opportuna di far parola dei così detti fenomeni di *calefazione* osservati la prima volta nel 1756 da Leydenfrost, quindi da Saussure, Bellani, Orioli, Povillet e specialmente da Boutigny. Se un liquido in piccola quantità viene versato sopra d'un solido avente una temperatura di molto superiore al punto di ebollizione di esso liquido, questo si scalda con tanta lentezza da richiedersi per la sua completa evaporazione un tempo molte volte maggiore di quello che è necessario per produrre l'istesso effetto nel caso in cui il solido avesse una temperatura di soli 50° o 100° maggiore del punto di ebollizione del liquido. In secondo luogo si osserva che la piccola massa liquida non bagna il solido, ma prende una forma globulare, ed è animata da un moto, che la fa girare intorno a se stessa, e la fa saltellare sulla superficie del solido. In terzo luogo si vede, che la gocciola non tocca il solido. Invero, si renda il liquido colorato, aggiungendovi una piccola quantità d'inchiostro, e si faccia cadere sopra una lastra ben piana, levigata ed assai riscaldata: ci sarà facile vedere una fiaccola collocata dalla parte opposta, traguardandola tra la gocciola e la lastra. Di più si faccia comunicare un polo della pila di Volta colla lastra, mentre l'altro polo comunica col liquido, che trovasi in stato di calefazione: la corrente elettrica non passa; il che torna a provare, non esservi imme-

(*) Riferiscono alcuni giornali, che Raul Pictet abbia potuto in questi giorni liquefare l'ossigeno sotto la pressione di 320 atmosfere e con un freddo di — 140°; e che contemporaneamente Cailletet, oltre l'ossigeno, abbia liquefatto l'ossido di carbonio.

diato contatto tra la lamina ed il liquido. Finalmente per mezzo di piccoli e delicati termometri immersi nel liquido si è constatato, che la temperatura di questo, durante il fenomeno, si mantiene alquanto al di sotto del suo punto d'ebollizione. Che se viene a diminuirsi la temperatura del solido, sicchè questa sia di 50° o 100° soltanto superiore al punto d'ebollizione del liquido, questo si distende sulla lamina, la bagna e con violenta ebollizione si converte in vapore. Boutigny dette il nome di *stato sferoidale* a quello, in cui trovasi il liquido, quando produce i descritti fenomeni, e ciò perchè esso credeva, che questo fosse un nuovo stato di aggregazione, in cui non hanno più luogo le leggi ordinarie termologiche; il che è totalmente falso, mentre i fenomeni di calefazione ottimamente si spiegano colle solite leggi termiche. Invero, si sa, che l'adesione d'un liquido con un solido va scemando col crescere della temperatura: quindi è che ad un grado di calore elevatissimo il liquido non bagna più una lamina solida, ma prevalendo in esso liquido la coesione all'adesione deve questo prendere la figura sferica. Formandosi poi uno strato di vapore, che avviluppa la goccia liquida, tal vapore, più abbondante nella parte rivolta alla lamina, distacca e sorregge la gocciola, impedendo il contatto tra il liquido e la lastra. Il vapore che sostiene la goccia, sfuggendo ora da una parte, ora dall'altra, le comunica il moto rotatorio, e questa, dileguatosi il vapore, ricade in basso, ma toccando la lamina, per una novella ed abbondante produzione di vapore è di nuovo sospinta in alto: da qui il saltellamento. Non trovandosi la massa liquida in contatto colla lastra, non può ricevere se non il calorico raggiato dalla lamina, e quello che le viene trasmesso dal vapore, che la circonda, mentre calorico le viene rapito dal vapore, il quale in essa continuamente si forma; onde avviene, che la sua temperatura debba mantenersi sempre al di sotto del punto d'ebollizione.

Dal trovarsi un liquido nello stato sferoidale ad una temperatura inferiore al suo punto di ebollizione dipende la spiegazione di alcuni curiosi fenomeni. Entro ad un crogiuolo rovente si versi, come ha fatto Boutigny, una grossa goccia d'acido solforoso, che ha il punto d'ebollizione a circa — 10°, prendendo essa lo stato sferoidale, andrà a trovarsi ad una temperatura minore di questa. Se allora le si versi sopra una gocciola d'acqua, questa si congela subito, e rovesciando il crogiuolo rovente, vedremo con meraviglia escirne un pezzo di ghiaccio. Faraday ottenne la solidificazione del mercurio, ponendo in un crogiuolo di platino mantenuto rovente una miscela d'acido carbonico solido e di etere, sulla quale, allorchè questa aveva preso lo stato sferoidale, collocò una capsula metallica contenente 31 grammi di mercurio, che si congelò in meno di 3″. Dipende pure dallo stato sferoidale la spiegazione del fatto, che un solido incandescente tuffato nell'acqua non la fa subbollire, e non produce in essa agitazione sensibile, finchè non cessi nel solido lo stato rovente, poichè uno strato di vapore, che tosto si forma intorno al solido immerso, e che di continuo si rinnova, mantiene distaccato il liquido dal solido. Bagnata una mano od un dito con una soluzione di sapone o di sale ammoniaco, s'immerga

con non troppa rapidità in un bagno di piombo, o di bronzo, o di ghisa fusi; non si riporterà alcun nocumento, tenendoveli per breve tempo.

CAPO VII.

TENSIONE DEI VAPORI

560. Formazione dei vapori nel vuoto. — I vapori, tendendo ad espandersi sempre più, quando sono racchiusi in un recipiente esercitano una pressione sulle pareti di questo. Tale pressione, ossia la tensione dei vapori, merita di essere diligentemente misurata, e di questa misura noi ci occuperemo nel presente capitolo: siccome poi il vapore può formarsi o nel vuoto, od in seno dell'aria atmosferica; prima tratteremo dei vapori prodotti nel vuoto, e poi di quelli, che sono mescolati coll'aria, o con un altro gas.

Un liquido collocato nel vuoto ben presto si converte in vapore (537). Ecco come ciò si rende manifesto. Due tubi barometrici A, B (fig. 290) si empiono di mercurio, e capovolti s'immergono nella capsula MO piena dello stesso liquido. Le colonne discenderanno alquanto, più o meno secondo l'attuale pressione atmosferica. In uno di essi tubi per mezzo d'una pipetta s'introducono poche goccie di etere, le quali, trovandosi nella camera barometrica, si convertono in vapore, che per la sua forza elastica fa abbassare un poco più la colonna di mercurio. La tensione del vapore formato sarà misurata dalla differenza d'altezza delle superficie di livello nei tubi A, B. Per lo più non tutto il liquido si converte in vapore, ma parte rimane allo stato di liquidità alla superficie del mercurio. Si può però così regolare la quantità d'etere, che s'introduce in B, che tutto evapori. Si raggiunge meglio tale scopo col far terminare il tubo lungo circa 80 centimetri in un pallone C d'un mezzo litro di capacità. Empiuti il tubo ed il pallone di mercurio, s'immerge l'estremo aperto dell'apparato nella capsula MO: si fa passare nella camera C una piccolissima ampolla di vetro sottile piena di etere, e coll'agitare l'apparecchio si rompe la detta ampolla. Allora tutto l'etere si converte in vapore, che fa abbassare il mercurio. In questo caso, generalmente parlando, si abbassa di meno

il liquido, che allorquando rimane un poco di etere allo stato di liquidità: onde si dice che la tensione del vapore in contatto d'un eccesso di liquido è *massima*. Noi tratteremo partitamente della forza elastica del vapore, prima quando sia questo in contatto con un eccesso di liquido, e poi quando tutto il liquido sia evaporato.

561. Vapori in contatto con un eccesso di liquido. — Quando il vapore formato nel vuoto è in contatto con un eccesso di liquido, hanno luogo le tre seguenti leggi:

1ª La prima legge è che « i vapori formati da diversi liquidi hanno forze elastiche diverse ad una medesima temperatura ». Ciò così si dimostra: Si prendano diversi tubi barometrici, ad esempio quattro ed empitili di mercurio e capovoltili, s'immergano i loro estremi aperti in un una medesima vaschetta contenente mercurio. Mentre il primo di questi serve da barometro, si fa passare nella camera barometrica degli altri tre piccole quantità di liquidi differenti, come acqua nel primo, nel secondo alcool, ed etere nel terzo. Si vedrà che la depressione prodotta dal vapore acqueo è piccola, maggiore è quella nata dal vapore alcoolico, massima quella generata dal vapore dell'etere.

2ª « La forza elastica del vapore d'un liquido è invariabile finchè la temperatura non cambia ». Empiasi di mercurio un tubo barometrico, ed al disopra di quello si ponga un poco di etere: chiuso quindi il tubo con un dito, si capovolga ed immerga in un pozzetto molto profondo contenente pure mercurio. L'etere andrà in alto, e trovandosi nel vuoto torricelliano, in parte convertirassi in vapore, che per la sua elasticità farà abbassare la superficie di livello della colonna mercuriale. La differenza di altezza di questa colonna e di quella del barometro darà la tensione del vapore dell'etere. Segnata con un indice (fig. 291) l'altezza *b* della superficie di livello nel detto tubo, s'innalzi o si abbassi di più il tubo nel pozzetto: si farà in tal modo crescere o diminuire lo spazio *ab* occupato dal vapore; ma rimarrà sempre costante l'altezza *db* della colonna mercuriale, perchè nel primo caso una nuova quantità di etere si converte in vapore, e nel secondo una parte del vapore torna allo stato liquido; onde rimarranno sempre costanti e la densità e la forza elastica del vapore, purchè durante l'esperimento non varii la temperatura.

3ª « Il vapore aumenta di tensione coll'aumentare di temperatura ». Questa legge si verifica con un apparato dovuto a Dalton. Due tubi barometrici contenenti mercurio sono immersi con un loro estremo in un vaso pieno a metà del medesimo metallo. Uno dei due tubi fa da barometro, e nell'altro s'introduce un poco d'acqua, una parte della quale convertesi in vapore e fa discendere alquanto la colonna di mercurio. Attorno ai due tubi vi è un cilindro di vetro, che costituisce un recipiente, a cui fa da fondo il mercurio del pozzetto, ed il quale si empie d'acqua. Trovandosi il tutto sopra di un fornello, per mezzo di questo si scalda l'acqua, e si vede che aumentandosi la temperatura di questa, e quindi quella del vapore acqueo racchiuso nel tubo barometrico, si abbassa di più la colonna di mercurio; il che indica essere cresciuta la tensione del vapore.

562. Misura della tensione del vapore acqueo da 0° a 100°. — Adesso possiamo dire, come si possa misurare la tensione dei vapori e specialmente del più interessante, ossia del vapore acqueo, alle varie temperature. L'apparecchio di Dalton poco fa descritto serve assai bene a misurare la detta tensione relativa alle temperature limitate da 0° e 100°. Basta a tal uopo riscaldare grado per grado l'acqua contenuta nel vaso cilindrico, agitando essa acqua, perchè sia uniforme la sua temperatura, la quale viene indicata da un termometro. La differenza di altezza delle due colonne di mercurio darà la tensione massima del vapore a quel dato grado di calore. Siccome però si riscalda e dilata anche il mercurio, la suddetta differenza di altezza esprimente una colonna di mercurio, che equilibra la forza elastica del vapore, va ridotta a zero gradi (516) col dividerla per il binomio di dilatazione del mercurio. A 100° il mercurio si dispone al medesimo livello dentro e fuori del tubo; onde si deduce, che la tensione del vapore acqueo a questa temperatura è eguale ad un'atmosfera.

563. Misura della tensione del vapore acqueo alle temperature superiori a 100°. — Per avere la tensione del vapore acqueo a temperature superiori a 100°, si può usare di un tubo ricurvo a sifone con una branca più corta e chiusa nel suo estremo, mentre la branca più lunga è aperta. Si empia tutto il tubo di mercurio, ma si lasci nella parte aperta un piccolo spazio, che empiesi d'acqua, la quale col capovolgere il tubo si fa passare nella branca chiusa. Quindi si fa scolare il mercurio, che occupava il ramo più lungo, finchè il livello da questa parte non sia alquanto più basso di quello della parte opposta. S'immerge dopo ciò il tubo in un vaso contenente acqua bollente. L'acqua interna si converte in parte in vapore, e questo fa abbassare la colonna mercuriale nel ramo chiuso, e la fa ascendere nell'altro; cosicchè questo liquido trovasi poi ad eguale altezza nelle due branche, la qual cosa conferma, la tensione del vapore acqueo a 100° essere eguale ad un'atmosfera. Abbiamo notato altrove (539), che un sale unito all'acqua ritarda l'ebollizione di questa, facendola avvenire ad una temperatura più elevata. Si ponga pertanto una piccola quantità d'un sale, ad esempio di cloruro di calce, nell'acqua bollente, e si misuri con un termometro la temperatura, che questa va a prendere. Crescendo il grado di calore dell'acqua bollente, cresce pure la tensione del vapore acqueo, che farà ascendere di più la colonna metallica nella branca aperta: sarà chiaro, che la detta tensione farà equilibrio ad un'atmosfera e più ad una colonna mercuriale di altezza eguale alla differenza di livello nei due rami, ridotta però tale altezza alla temperatura zero. Aggiungendo poco a poco nuove quantità di cloruro di calce, si può portare l'acqua bollente fino a 180°, e determinare quindi le forze elastiche del vapore a ciascun grado di calore; bisogna però fare uso di un tubo assai lungo e versare nuovo mercurio in esso.

564. Metodo di Regnault. — Regnault ha misurata la tensione del vapore acqueo, fondandosi sopra un altro principio ossia nell'influenza che esercita l'aumento di pressione nel ritardare l'ebollizione (537), dovendo, perchè questa succeda, i vapori acqui-

stare una tensione eguale alla pressione, che si effettua sopra al liquido. L'apparecchio usato da Regnault è il seguente (fig. 292). È C una caldaia ad erte pareti e chiusa, il cui coperchio è attraversato da alcuni termometri, che misurano la temperatura dell'acqua in essa caldaia contenuta, e che viene riscaldata da un sottoposto fornello F. La caldaia per mezzo d'un tubo refrigerante M comunica con un pallone B, che trovasi immerso nel gelo, ed il quale sta in comunicazione con un manometro per mezzo del tubo *t*, e con una macchina di compressione mediante il tubo *b*. Si addensa l'aria in B, e così si aumenta la pressione sopra all'acqua, la qual pressione viene indicata dal manometro. Regnault, osservata questa, ha esaminato a qual grado di calore bolliva l'acqua, e da ciò conosceva la tensione del vapore acqueo a quella temperatura, dovendo, come abbiamo detto, la tensione eguagliare la pressione notata dal manometro. Ad esempio, fatta una pressione di 2, 3... atmosfere, l'acqua bolliva a 120°,4, a 135°,1 e si conchiudeva, che il vapore acqueo riscaldato a 120°,4 ed a 135°,1 ha una tensione di 2 e 3 atmosfere. Regnault, diradando l'aria in B con una macchina pneumatica, anzi che addensarcela, venne a conoscere le tensioni del vapore a temperature inferiori a 100°.

565. Misura della tensione del vapore acqueo a temperature inferiori a zero. — Gay-Lussac per misurare la tensione del vapore acqueo a temperature inferiori allo zero, si è servito d'un metodo basato sul principio di Watt, cioè che se si mettano in comunicazione due vasi chiusi contenenti un medesimo liquido, ma diversamente riscaldati, la tensione comune del vapore, che si stabilisce in questi due vasi, non è già, come si potrebbe credere, la tensione media tra quelle già esistenti in ciascun vaso, ma è quella che compete al vapore sollevato dal liquido più freddo. Abbiansi (fig. 293) due palloni di vetro, l'uno A contenente acqua mantenuta a zero, e l'altro B pieno di acqua a 100°. Se per mezzo della chiave C si mantengono separati i vapori, che si sollevano dai due palloni; quello che procede da A avrà una tensione di mm. 4, 6, e quello che nasce da B avrà la tensione di mm. 760. Subito che però si stabilisce la comunicazione tra i due recipienti, col girare la chiavetta C, il vapore del pallone B a motivo del suo eccesso di tensione si precipita nel pallone A, e raffreddandosi si converte in parte in liquido. Il vapore di B seguirà a gettarsi in A ed a liquefarsi sino a che la tensione del vapore rimasto in B non sia eguale a quella del vapore di A, vale a dire a quella, che corrisponde alla temperatura più bassa. Si può ciò dimostrare anche nel seguente modo. In un tubo ABC (fig. 294) chiuso e privo d'aria si è introdotto un liquido. La branca C è più calda della branca A. Dopo un qualche tempo tutto il liquido di C si vede passato nella branca più fredda, poichè il vapore emesso nel vuoto dal liquido C, arriva in A, ed essendo la forza sua elastica troppo grande per quella temperatura, una parte di esso vapore si deve liquefare. Il vapore che rimane in A ha una tensione minore di quella del vapore esistente in C, e quindi una nuova quantità di questo penetra nella branca più fredda, ed in parte si liquefà, e così prosegue la cosa, finchè il liquido in C non è esaurito, ed

il vapore in tutto il tubo non è d'uniforme tensione equivalente a quella, che ad esso compete alla più bassa delle due temperature.

Gay-Lussac fondandosi su questo fatto per misurare le tensioni del vapore dell'acqua alle temperature inferiori a zero ha usato un apparecchio semplicissimo consistente in due tubi barometrici pieni di mercurio ed immersi in una medesima vaschetta. Uno di essi è dritto, perfettamente privo d'aria nella parte superiore e serve a misurare la pressione atmosferica: l'altro è curvato in modo, che una parte della camera barometrica, la quale termina in bulbo, può pescare in una miscela frigorifera. S'introduce nella camera di questo secondo tubo una piccola quantità d'acqua, che dopo qualche tempo, come si vide nella precedente esperienza, sarà interamente passata nella parte più fredda. Il vapore avrà allora la tensione, che gli compete alla temperatura della miscela, tensione, che viene misurata dalla differenza di altezza delle due colonne di mercurio.

566. Tavola delle forze elastiche del vapore acqueo a diverse temperature secondo Regnault.

Gradi	Millimetri	Gradi	Millimetri	Gradi	Atmosfere
— 32	0,31,	34	39,57,	100	1
— 20	0,84,	35	41,83,	120,4	2
— 10	1,96,	36	44,20,	135,1	3
0	4,60,	37	46,70,	145,4	4
5	6,53,	38	49,30,	135	5
10	9,17,	39	52,04,	160	6
15	12,70,	40	54,91,	166,5	7
20	17,40,	50	92,00,	172,1	8
25	23,55,	60	148,80,	177,1	9
30	31,55,	70	233,10,	181,6	10
31	33,41,	80	354,63,		
32	35,36,	90	525,45.		
33	37,41,				

Confrontando le tensioni del vapore acqueo alle varie temperature notate nell'esposta tavola, ci accorgiamo, che la tensione cresce assai più rapidamente della temperatura. Difatti vediamo, che se a 100° la tensione è d'un'atmosfera, a 120°,4 è già di 2 atmosfere; nè si richieggono altri 20°,4 per aumentarla d'un'altra atmosfera, mentre a 135°,1 il vapore esercita una pressione di 3 atmosfere.

567. Vapori che non sono in contatto con un eccesso di liquido. — Quando un vapore non sia in contatto con un eccesso di liquido, se non trovasi in istato di massima densità, si comporta in tutto come i gas, cioè si dilata come un gas per aumenti di temperatura, e compresso decresce di volume proporzionatamente all'aumento dei pesi comprimenti, come in altro luogo (548) abbiamo accennato. Per dimostrar ciò sperimentalmente si prendono due tubi chiusi in un estremo, lunghi egualmente e di egual calibro. Empiti questi di mercurio, si capovolgono ed affondano alquanto in un profondo pozzetto di ferro, che termina in alto in una parte di diametro maggiore: questo pozzetto è pieno di mercurio. Un largo tubo di vetro, che coll'estremo inferiore

trovasi pure immerso nel liquido del pozzetto, circonda i due tubi barometrici. In uno di questi si fa passare una piccola e sottile bolla di vetro piena d'un liquido, ad esempio d'etere. Concentrando su questa con una lente i raggi solari, od appressando al tubo un carbone acceso, si riscalda l'etere, il quale, aumentando di volume, rompe la bolla, si converte totalmente in vapore, e fa abbassare la colonna barometrica. Si attende, che il detto vapore abbia presa la temperatura dell'atmosfera; dopo di che per mezzo d'un tubo capillare ricurvo ed a forza di prove si fanno passare dentro all'altro alcune bolle di aria, cosicchè il volume, che va questa ad occupare, sia eguale a quello, che nel primo è occupato dall'etere. S'empie dipoi il manicotto di vetro, entro cui trovansi i due tubi con acqua calda, che si agita con cura, perchè abbia una temperatura uniforme. Si vedrà che l'aria ed il vapore etereo aumentano egualmente di volume per un dato aumento di temperatura. La pressione comune subìta dall'aria e dal vapore si può aumentare e diminuire coll'affondare di più i tubi nel pozzetto o col sollevarli; il che facendo, si verrà a conoscere, che l'aria ed il vapore egualmente diminuiscono ed aumentano di volume. Che se si raffreddi il vapore, o si comprima in modo, che acquisti la tensione massima, allora per un ulteriore raffreddamento, od aumento di pressione, parte del vapore si liquefà, e tornano ad avere luogo le leggi, che disopra si sono esposte (561).

568. Tensione dei vapori mescolati ai gas. — Dopo di avere fin qui parlato della tensione dei vapori formati nel vuoto, passiamo a considerar quella della mescolanza d'un vapore coll'aria atmosferica o con un altro gas. Insegna l'esperienza, che la mescolanza dei gas e dei vapori ha una forza elastica eguale alla somma delle tensioni dei gas e dei vapori presi isolatamente. Questa legge ben si dimostra con un apparecchio immaginato da Gay-Lussac, e che si compone (fig. 295) di un largo tubo T di vetro chiuso nella parte superiore ed annesso nell'inferiore con mastice ad una guarnitura di ferro munita di chiavetta *r*. Il detto tubo è graduato in parti d'eguale capacità, e verso il basso è comunicante con un altro tubo T' di esso più alto ed aperto all'estremo superiore. Si comincia l'esperimento coll'empire di mercurio l'apparato. A tal uopo si svita il robinetto e capovolgendo il tubo T, si versa il mercurio per il foro. Vi rimane però sempre dell'aria, a togliere la quale si ripone il robinetto, e collocato il tubo in posizione normale, si versa altro mercurio per il tubo T': inclinando quindi l'apparecchio, si fa passare l'aria racchiusa da T in T': ess'aria sfuggirà nell'atmosfera, ed il mercurio andrà ad occupare il posto dalla medesima abbandonato. Si termina dopo ciò di empire di mercurio tutto l'apparato. Si adatta nell'apertura di T' un altro tubo piegato ad U pieno di pomice imbevuta d'acido solforico, e si apre il robinetto *r*. Il mercurio scola in un recipiente sottoposto, e nondimeno la colonna mercuriale, che trovasi nel tubo graduato T, non si abbassa, perchè essendo di altezza minore di quella della colonna barometrica, è sostenuta dalla pressione atmosferica (166). Si abbassa bensì la colonna del tubo T', ed il posto abbandonato dal mercurio rimane occupato dall'aria, la quale si dissecca nell'attraversare l'acido sol-

forico. Quest'aria secca giunta all'estremo inferiore del tubo T', penetra nel tubo T bolla a bolla, e si eleva nella parte superiore di esso. Allorchè si è fatta entrare una sufficiente quantità d'aria, si chiude il robinetto, e si versa altro mercurio in T', in modo che la superficie di livello sia ad eguale altezza nei due tubi. Si noti il volume dell'aria racchiusa in T, la quale subirà una pressione eguale a quella, che l'atmosfera esercita sul tubo T', e che è indicata dal barometro. Si deve dopo ciò aggiungere all'aria posta in T un vapore, e per solito si usa quello dato da un liquido volatile. Si ponga ad esempio uno strato di etere sopra al mercurio nel tubo T, e si apra il robinetto *r*: scolerà il mercurio, e la superficie di livello di questo si abbasserà in ambedue le canne, ma più in quella aperta, sulla quale agisce l'atmosfera colla sua pressione, mentre in T, coll'abbassarsi della colonna liquida si dilata l'aria racchiusa, e per ciò decresce di tensione, in modo che quando questa tensione congiunta al peso della colonna liquida rimasta nel tubo stesso equilibra la pressione atmosferica, che si esercita nel robinetto aperto, termina la discesa del liquido da questa parte. Abbassandosi continuamente la superficie di livello in T', giungerà l'etere all'estremo inferiore di questo, ed allora penetrerà e si solleverà in T. Quando ne sia entrata una sufficiente quantità, chiudesi il robinetto. L'etere sollevatosi sopra il mercurio in T, si converte in vapore, si abbassa il mercurio da questa parte e si solleva dall'altra. Tale innalzamento del liquido in T' succede un poco alla volta ed assai lentamente, ed è dopo un notevole tempo, presso a poco dopo un'ora, che cessa l'ascensione. Ciò prova che l'evaporamento d'un liquido nell'aria od in un altro gas si fa lentamente, mentre è quasi istantaneo nel vuoto. Allorchè la superficie di livello in T' è divenuta stazionaria, si versa in questo altro mercurio, finchè la mescolanza di vapore ed aria racchiusa in T non riprenda il primiero volume. Si vedrà, che ottenuto questo, la superficie di livello è più elevata in T' che in T. La pressione subìta dalla mescolanza, e quindi la sua tensione, sarà eguale alla pressione atmosferica, più al peso d'una colonna di mercurio avente per altezza la differenza delle altezze delle due superficie di livello; ossia sarà eguale alla pressione prima subìta dalla sola aria, più al peso della detta colonna. Ora quest'ultimo peso esprime la tensione massima del vapore di etere nel vuoto. Difatti, posto uno strato d'etere nella camera d'un barometro, quando questo siasi evaporato, in modo che il vapore abbia raggiunto il massimo di tensione a quella temperatura, si vede la colonna barometrica essere depressa di tanto, di quanto è il dislivello delle due colonne di mercurio nell'apparato.

Sarà ora cosa ben facile il risolvere il seguente problema. Supponiamo, che il precedente esperimento si faccia ad una data temperatura, alla quale la tensione massima del vapore etereo sia di 400 mm., e che l'aria stando sola nel tubo T, occupi uno spazio di 10 centimetri cubi. Quando siasi introdotto l'etere, e questo abbia evaporato, la mescolanza occuperà uno spazio maggiore di 10 centimetri, e per ridurla al volume primiero dell'aria, bisogna, come si disse, versare in T una nuova quantità di mercurio. Se invece di riportare il volume della mescolanza a 10 centimetri

cubi, si voglia fare in modo, che il mercurio abbia un'eguale altezza nei due rami; si domanda: quale volume avrà la mescolanza, quando siasi ciò ottenuto? Per avere la detta eguaglianza d'altezza si dovrà aprire il robinetto r e fare sgorgare il mercurio, ed allora, come abbiamo poco fa notato, si abbasserà più il liquido in T' che in T. Quando le due colonne avranno un'eguale altezza, si chiuderà il robinetto. Se la mescolanza occupasse il primiero spazio di 10 centimetri, la pressione dell'aria sarebbe stata di mm. 760, e di mm. 400 quella del vapore, e quindi la tensione della mescolanza sarebbe di millimetri $760 + 400 = 1160$. Ma fatto sgorgare il mercurio in modo d'avere il liquido eguale altezza nei due tubi, la forza elastica della mescolanza si ridurrebbe a quella d'un'atmosfera, con cui fa equilibrio, sarebbe cioè di 760 mm. Ora supponendo che in T ci sia sempre etere liquido in eccesso, cosicchè il vapore etereo sia sempre in massima tensione eguale a mm. 400 (561), non diminuendo la tensione del vapore, dovrà aver subìta diminuzione la tensione dell'aria, la quale tensione dall'essere di mm. 760 sarà passata ad essere $760 - 400 = 360$ mm. Ecco adunque a che si riduce il problema: un volume di 10 centimetri cubi d'aria che dovrà addivenire perchè la sua tensione da 760 mm. passi ad essere 360 mm.? Sapendosi per la legge di Mariotte (179) che i volumi di un gas stanno fra loro nella ragione inversa delle tensioni, se chiamasi con x il cercato volume, si avrà la proporzione

$$10 : x = 360 : 760$$

dalla quale si ricava $x =$ cc. 21, 11.

CAPO VIII.

NOZIONI SULLE MACCHINE A VAPORE

569. *Applicazione della forza elastica del vapore alle macchine* — 570. *Cilindro* — 571. *Distributore a crociera* — 572. *Distributore a cassetta* — 573. *Trasformazione del moto rettilineo in rotatorio* — 574. *Eccentrico* — 575. *Condensatore* — 576. *Macchine a bassa e ad alta pressione* — 577. *Macchine a semplice e a doppio effetto* — 578. *Macchine ad espansione* — 579. *Generatore del vapore* — 580. *Valvole di sicurezza* — 581 *Galleggiante e fischietto* — 582. *Politura della caldaia* — 583. *Stato sferoidale dell'acqua nella caldaia* — 584. *Tiro del camino* — 585. *Volante e moderatore a forza centrifuga* — 586. *Brevi cenni storici intorno all'invenzione delle macchine a vapore.*

569. Applicazione della forza elastica del vapore alle macchine. — Abbiamo veduto, che il vapore acqueo, quando venga molto riscaldato acquista un'enorme tensione. Difatti, se il vapore dell'acqua si porti alla temperatura di 181°,6, acquista una forza elastica di 10 atmosfere (566); e poichè la pressione d'un'at-

mosfera è di grammi 1033 per ogni centimetro quadrato della superficie premuta (168), ne viene che il vapore acqueo alla detta temperatura in una superficie d'un metro quadrato deve fare una pressione corrispondente a chilogrammi 103300. Era ben naturale, che i meccanici studiassero il modo d'usufruire d'una forza sì grande, applicandola come forza motrice alle macchine degli opificii, ed alla trazione dei veicoli sì da terra che da mare. I loro studii sono stati coronati da esito felicissimo, e tutti nel nostro secolo ammiriamo la grande potenza delle *macchine a vapore*. Di queste intendiamo parlare nel presente capitolo. Non essendo poi facile descrivere esattamente le singole parti, che costituiscono una di queste macchine, ci limiteremo a far comprendere l'officio di ciascuna di esse parti, esprimendole con figure schematiche

570. Cilindro — Una delle parti essenziali d'una macchina a vapore è un grosso cilindro cavo di metallo, entro al quale può scorrere in sù e giù uno stantuffo a tenuta di vapore. Il detto cilindro ha un coperchio ben chiuso, per mezzo al quale, pure a tenuta di vapore, passa un'asta metallica annessa all'embolo, di cui abbiamo parlato. Supponiamo, che il cilindro sia munito di quattro fori laterali (fig. 296), due presso al fondo, e due presso al coperchio, ciascuno dei quali sia munito di robinetto. Supponiamo inoltre, che in una separata caldaia sia generata una grande quantità di vapore dotato di forte tensione, e che da essa caldaia parta un tubo, il quale giunto vicino al cilindro si divida in due, mettendo capo uno al foro inferiore R, e l'altro al foro superiore R'. Se entrambi i robinetti R, R' saranno chiusi, il vapore non potrà entrare nel cilindro. Che se siano aperti i fori R, *r*, e chiusi gli altri due R', *r'*, il vapore entrerà nel cilindro per R, e per la sua forza espansiva maggiore d'un'atmosfera spingerà in alto l'embolo, mentre l'aria atmosferica, che stava al disopra dello stantuffo, escirà per il foro *r*. Immaginiamo adesso, che quando l'embolo sia per arrivare vicino al coperchio, ma prima che giunga a coprire i fori superiori, si chiudano i robinetti R, *r*, e si aprano invece gli altri R', *r'*. Il vapore allora incomincia ad entrare nella parte superiore all'embolo: questo si abbassa, discacciando il vapore sottoposto allo stantuffo, il quale esce per *r'*. Arrivato l'embolo in vicinanza del fondo, si muti di nuovo la disposizione delle quattro chiavi, aprendosi i fori, che erano chiusi, e chiudendosi quelli, che erano aperti: si comprende, che lo stantuffo deve tornare in alto, mentre un'altra girata di chiavi lo farà tornare in basso, e così via via. L'asta adunque dello stantuffo avrà un movimento di va e vieni, e da questo moto si potranno ricavare molti utili effetti, come si vedrà in seguito.

571. Distributore a crociera. — Ma se dalla mano dell'uomo dovesse operarsi l'alternata apertura e chiusura dei robinetti ad ogni corsa dell'embolo, il moto riescirebbe assai lento ed irregolare; quindi si è fatto in modo, che la macchina stessa obblighi il vapore ad entrare alternativamente ora sopra ora sotto all'embolo. Ciò si ottiene per mezzo d'un'altra parte della macchina, che dicesi *distributore*, il quale può essere a *crociera*, che si suole usare nelle macchine fisse, od a *cassetta*, che si adopra

nelle locomotive. Descriviamo il primo. Una specie di croce di legno o di metallo (fig. 297) è collocata avanti al cilindro motore GG'. Entro ad essa croce si trovano quattro tubi, che vanno a terminare in una cassetta circolare U posta nella intersezione delle due sbarre che formano la croce suddetta: il tubo *gh* comunica colla parte interna superiore del cilindro, ed il tubo *lo* colla parte inferiore del medesimo. Il tubo *fe* viene dalla caldaia, ed il tubo *ji* finalmente sbocca nell'atmosfera libera. La cassetta U è tutta aperta all'intorno, cosicchè in qualunque sua posizione può ricevere e dare vapore ai quattro suddetti tubi, che mettono capo in essa; ha però un tramezzo *xy*, che divide la sua capacità in due parti, le quali non comunicano fra loro. La detta cassetta per mezzo della manovella *z* può girare, prendendo la posizione *xz*, o la posizione *x'z'* notata a parte. Allorquando il tramezzo trovasi nella situazione *xz* pone in comunicazione *ef* con *ol*, ed *hg* con *ij*, ma è tolta ogni comunicazione tra i due primi ed i due secondi tubi: per il che il vapore, il quale entra per il tubo *ef*, è obbligato di andare per il tubo *lo* nella parte inferiore del cilindro; onde lo stantuffo ascenderà, cacciando l'aria od il vapore che trovansi nella camera superiore del cilindro, e che entrando per *hg* nella cassetta U, andranno per *ij* a disperdersi nell'atmosfera. Se allora si fa prendere al tramezzo la posizione *x'z'*, esso porrà in comunicazione *ef* con *gh*, ed *ol* con *ij*, togliendo ogni comunicazione tra questi e quelli; ond'è che il vapore è costretto ad entrare nella parte superiore del cilindro, ed obbligherà l'embolo a discendere, scacciando il vapore sottoposto, che andrà a disperdersi nell'atmosfera. Con questo ingegnoso apparato si potrà inviare il vapore or sopra or sotto allo stantuffo, ed offrire nel medesimo tempo la necessaria escita al vapore, che trovasi dall'altra parte, solo col fare spostare ad ogni corsa dell'embolo di un quarto di giro la manovella *z*; la qual cosa eseguisce la macchina stessa. Immaginiamo che dalla cima T dell'asta dello stantuffo sporga un braccio orizzontale TO, e che da questo discenda una spranga verticale OL, che passi vicino alla manovella *z*; cosicchè quando lo stantuffo si muove in su e giù nel cilindro, anche tale asta si muova parallelamente ad esso. Se la detta verga OL sia munita di due piccoli bracci *m*, *n* di sufficiente lunghezza e collocati a dovere, è chiaro, che quando lo stantuffo si appressa alla sommità del cilindro, il braccio *m* urterà la manovella *z* e le darà la posizione contraria, e che quando per effetto di tale cambiamento lo stantuffo sarà disceso e si troverà vicino al fondo, l'altro piccolo braccio *n* la rimetterà nella posizione primitiva.

572. Distributore a cassetta. — Per avere un'idea del distributore a cassetta s'immagini d'avere una scatola parallelepipeda rettangolare NM (fig. 298), sul cui fondo sono praticati tre fori vicini fra loro, dei quali i due estremi sono le bocche di due tubi D, B, che vanno a metter capo alle estremità del cilindro, e quello di mezzo è la bocca del tubo C, per il quale il vapore dopo aver lavorato si disperde nell'atmosfera. Il coperchio della cassetta ha pure un foro, che è l'estremo d'un tubo A, che viene dalla caldaia. Nell'interno della detta scatola avvene un'altra più pic-

cola *z* detta il *cappello* senza coperchio, e voltata col fondo in su, di tali dimensioni, che essa possa coprire nel tempo stesso il foro di mezzo ed uno degli estremi, lasciando scoperto l'altro. Il labbro del cappello deve combaciare così esattamente col fondo della cassetta, da essere a tenuta di vapore: esso cappello poi deve essere fornito di un'asta, che passa, pure a tenuta di vapore, attraverso d'un fianco della cassetta, e che serve a farlo scorrere in su e giù. Supponiamo ora, che il cappello tenga la posizione notata in figura; cioè accolga sotto di sè la bocca del tubo C e quella di B: sarà manifesto, che il vapore, il quale entra per A ed empie la cassetta, trovando coperti gli orifizii dei tubi C, B, deve penetrare nel tubo D, ed invadendo la parte del cilindro collocata alla nostra sinistra, spingerà l'embolo verso la nostra destra. Intanto l'aria od il vapore, che trovansi nell'altra parte del cilindro, sfuggiranno per il tubo B, e giunti sotto il cappello per il tubo C si disperderanno nell'atmosfera. Arrivato l'embolo all'estremo destro del cilindro, la macchina cambia la posizione del cappello in modo che questo lascia scoperto l'estremo del tubo B, e copre l'estremo di D. Allora il vapore, che entra per A, imbocca nel tubo B, si porta alla parte destra del cilindro, e spinge l'embolo verso la nostra sinistra, mentre il vapore, che ha precedentemente lavorato, fugge per D, e giunto sotto al cappello si versa nell'atmosfera per C. La macchina sposta il cappello per mezzo dell'*eccentrico*, di cui si parlerà da qui a poco.

573. Trasformazione del moto rettilineo in rotatorio. — Osserviamo intanto come dal movimento di va e viene dello stantuffo noi possiamo trarre un grand'utile. Invero, questo moto può servire per le operazioni di segare, limare, battere, cavar acqua, le quali operazioni consistono d'ordinario in un semplice movimento alternativo rettilineo. Ma facilmente il detto moto dello stantuffo si può convertire in un movimento continuo rotatorio. S'immagini, che l'estremo T (Fig. 299) dell'asta dello stantuffo sia congiunta mediante un'articolazione o snodatura con una seconda asta T*a*. L'asticella metallica *bc*, che fa da perno nell'articolazione, sia lunga in modo, che i suoi estremi entrino in due fessure *de*, *fg* parallele all'asta dello stantuffo, dette *guide*, che impediscono ogni deviazione laterale dell'asta. L'estremo *a* della sbarra T*a* sia annessa ad un manubrio unito all'asse *hl* della ruota M. Ognuno vede che il moto rettilineo dello stantuffo è trasmutato in moto rotatorio di M; ed è cosa facile a capirsi, come il movimento rotatorio di M si possa trasmettere con sistemi di ruote dentate o di funi senza fine ai varii pezzi di una macchina da opificio ecc.

Si supponga adesso che ai due estremi della sbarra di ferro ABC (Fig. 300) ripiegata in B come mostra la figura siano connesse due grandi ruote di ferro, e che la detta spranga sia congiunta ad un carro da 4 o 6 ruote, due delle quali siano le suddette, e s'immagini inoltre, che nell'indicato carro giaccia orizzontalmente il cilindro motore colle altre relative parti di macchina, e finalmente che il braccio articolato congiunto all'asta dello stantuffo sia unito nel punto B colla spranga: sarà chiaro che, movendosi l'embolo, dovranno girare le due ruote annesse ad ABC, e che per ciò si

porrà in moto il carro. Si ha così un' idea delle locomotive di terra. Che se si supponga, che la macchina ora descritta sia collocata in un vano nel mezzo di un bastimento, e che gli estremi della sbarra ABC escano dai fianchi della nave e portino invece delle due suddette ruote due altre a palette immerse per buona parte nell'acqua: ognuno si persuaderà che, messe queste dal vapore in moto, faranno l'officio di remi. Ecco un' idea della macchina da piroscafo.

Qui è da avvertirsi, che moltissime macchine sono a due cilindri, quantunque abbiano una sola caldaia. La ragione principale di questa disposizione è, che se vi fosse una sola manovella, ossia se l'asse AC fosse ripiegato nel solo punto B, il moto non riuscirebbe uniforme e regolare, poichè la manovella secondo le diverse posizoni che prende, ora è più favorevole all'azione della macchina, ora meno. Difatti, se il piano, in cui giace la parte inginocchiata della sbarra AC, è coincidente al piano, in cui giace l'asta dello stantuffo, posizione che è due volte presa dalla sbarra in ogni giro, e che dai pratici si suol chiamare *punto morto*, l'asta dello stantuffo non è valevole a comunicare il moto di rotazione, ma altro non fa che tirare o premere fortemente AC contro i sostegni. Spostata la parte inginocchiata dal punto morto, questa risente tosto l'urto dello stantuffo, che le imprime un moto rotatorio tanto maggiore quanto più s'inclina la parte inginocchiata, divenendo massimo l'effetto allorchè la detta manovella si è posta in posizione normale a quella dei punti morti. Se adunque sul principio avesse la manovella la posizione del punto morto, il vapore non potrebbe mettere in moto la macchina, ma se la manovella sta alquanto inclinata da quella posizione, il vapore comincia a muoverla, comunicandole una velocità crescente, finchè non la pone perpendicolarmente al punto morto; quindi la velocità che le imprime è decrescente fino ad esser nulla, quando la manovella si pone nel secondo punto morto, cosicchè ivi si fermerebbe se non possedesse una velocità precedentemente acquistata. Si vede pertanto, che il moto rotatorio non sarebbe uniforme. Si rimedia ad un tale difetto adoprando due cilindri applicati a due punti della spranga, che siano inginocchiati in posizioni perpendicolari fra loro. In tal caso quando una manovella è ad un punto morto, l'altra trovasi in un punto di massima attività, e per ciò l'impulsione comunicata dai due stantuffi è sempre costante.

574. Eccentrico. — Dopo l'esposto facilmente si capisce il modo di agire dell'*eccentrico* (572), il quale serve a far prendere al cappello del distributore a cassetta il moto di va e viene. Consiste l'eccentrico in una rotella d'ottone A (fig. 301), la quale è annessa al centro della ruota che è messa in movimento dal vapore, e gira con questa. Se non che non è il centro della rotella che è fissato al centro della ruota, ma è un altro punto *b*, intorno al quale per conseguenza gira l'eccentrico. Ha la rotella una gola fra due orli sporgenti, ed in questa si adatta un anello piatto, il quale è ordinariamente d'ottone, ed è composto di due mezzi anelli con orecchie sporgenti alle estremità attraversate da viti. Fra due di queste orecchiette viene fermata un'asta che coll'altro estremo è congiunta con articolazione all'asta del cappello. Girando l'eccentrico colla

ruota, in ogni rivoluzione esso prende le posizioni notate in M ed N, e per ciò in ogni giro della ruota l'estremo V dell'asta una volta si avvicina a *b* ed una volta se ne allontana, ed in tal modo il cappello viene alternativamente tirato in avanti ed indietro.

575. Condensatore. — Le macchine fisse (da filatoi, seghe ecc.) e le macchine da piroscafi hanno quasi sempre un'altra parte notabilissima, che porta il nome di *condensatore*, e che ha il seguente scopo. Abbiamo veduto (570) che lo stantuffo nel muoversi deve spingere fuori del cilindro il vapore, che già vi si trova, e che per ciò una parte della forza va perduta nel vincere il contrasto di questo vapore, onde non rimane utile che l'altra parte. Siccome poi il vapore, che deve essere discacciato dal cilindro, ha la forza espansiva di un' atmosfera, così la forza utile per muovere la macchina è di un' atmosfera minore di quella che il vapore esercita realmente. Il condensatore ha l'officio di minorare questa perdita, distruggendo quasi affatto l'accennata resistenza. Si raggiunge lo scopo, facendo una bella applicazione del principio di Watt (565). Il tubo, per cui esce il vapore dopo di aver lavorato, invece di disperdersi nell'aria aperta, termini in un vaso chiuso, il quale sia mantenuto ad una bassa temperatura. Per il suddetto principio di Watt la tensione che rimane al vapore, il quale resta nel cilindro, sarà assai piccola, perchè è eguale a quella che prende il vapore nel vaso freddo. In questo modo la resistenza incontrata dallo stantuffo per il vapore, che deve scacciare, si può rendere molto minore di un'atmosfera. Generalmente il condensatore è un gran cilindro cavo di metallo somigliante al cilindro motore, ma privo di stantuffo; e perchè si mantenga a bassa temperatura, è circondato d'acqua fredda, una parte della quale è injettata dentro al cilindro nei momenti opportuni per mezzo di una tromba mossa dalla macchina. Questo zampillo d'acqua fredda, sparpagliandosi a guisa di pioggia, batte nel vapore che entra nel condensatore, e lo raffredda, obbligandolo a liquefarsi in parte. Siccome poi a lungo andare il condensatore si empirebbe d'acqua; una seconda tromba, mossa anch'essa dalla macchina, incessantemente cava quest'acqua. Potrebbe credersi, che quanto più freddo il condensatore sia mantenuto, tanto maggior profitto debba arrecare. La cosa però non è così. Difatti, ben è vero, che raffreddando maggiormente il condensatore, si indebolisce maggiormente la resistenza presentata allo stantuffo dal vapore rimasto, ma è pur vero dall' altra parte, che con ciò si accresce la quantità d'acqua, che si accumula nel condensatore in un dato tempo; e siccome per estrarre quest'acqua bisogna consumare della forza, dovrà esserci un punto, oltre al quale non deve spingersi la condensazione, poichè oltrepassandola, il vantaggio che si avrebbe nella diminuzione della resistenza riuscirebbe inferiore al disvantaggio di dover estrarre dal condensatore una maggior quantità d'acqua. Si reputa, ottenersi l'effetto massimo, quando il condensatore abbia una temperatura costante da 30° a 35°.

576. Macchina a bassa e ad alta pressione. — Il condensatore è quasi sempre applicato nelle macchine a *bassa pressione*, in quelle cioè in cui la tensione non eccede tre o quattro atmosfere; perchè il risparmio di circa un' atmosfera di tensione, quando questa

non sia molto elevata, importa un notevole risparmio di combustibile (566). Che se la macchina è ad *alta pressione*, tale cioè che eserciti una forza di molte atmosfere, quali sono le locomotive, il risparmio di un' atmosfera non è cosa che faccia risparmiare gran che di combustibile; onde tali macchine per lo più non hanno condensatore.

577. Macchine a semplice e a doppio effetto. — Nelle primitive macchine il condensatore aveva un officio ancora più importante. In esse il vapore non andava a vicenda or sopra or sotto allo stantuffo, come avviene nella macchina, che abbiamo fin qui descritta: ma s'impiegava la forza espansiva del vapore solamente a spinger l'embolo in un senso, poi si faceva condensare il vapore, ed allora il movimento opposto veniva prodotto o dalla pressione atmosferica, o da un contrappeso. Da qui nasce un'altra distinzione delle macchine a vapore in macchine a *semplice effetto*, che sono quelle, in cui il vapore agisce in un solo senso, ed in macchine a *doppio effetto*, e sono quelle, nelle quali il vapore preme l'embolo alternativamente d'ambedue le parti, le quali macchine si chiamano pure *macchine di Watt*, prendendo tal nome dal loro inventore.

578. Macchine ad espansione. — Alle accennate distinzioni delle macchine a vapore deve aggiungersene un'altra, cioè in macchine *ad espansione*, ed in macchine *senza espansione*. In queste ultime il vapore non cessa di entrare nel cilindro da un'estremità, finchè lo stantuffo non è giunto al termine della corsa, ed allora esso comincia subito ad entrare per l'altra estremità, e così di seguito; laonde mano mano, che l'embolo lascia libero lo spazio dietro a sè, accorre sempre nuovo vapore nel cilindro, e però la forza, che spinge lo stantuffo, rimane sempre eguale a se stessa dal principio alla fine della corsa, perchè il vapore conserva sempre la medesima densità. Or bene, si può congegnare il distributore della macchina in modo che il vapore cessi d'entrare nel cilindro prima che l'embolo sia giunto al fine della corsa, per esempio quando esso è solamente alla metà, a due terzi ecc. della corsa. In tal caso il resto del cammino dell'embolo viene effettuato unicamente per l'espansione del vapore, e se ne risparmia quella parte che sarebbe entrata nel cilindro, durante il resto del movimento. Ma si può obbiettare, che effettuandosi l'espansione decresce la tensione del vapore che si dilata. Ora, o la forza che si ha in principio della corsa è necessaria per il lavoro, a cui si destina la macchina, ed in tal caso non può usarsi l'espansione, la quale dà una forza minore, ovvero la forza di prima era superflua, ed allora si potrà usare una forza più piccola fin da principio, chiudendo un poco la chiave del vapore, senza usare più complicati artificii. Per rispondere a tale obbiezione basta riflettere a ciò, che avviene in una macchina ad espansione. Si supponga che questa abbia l'espansione *a metà corsa;* sarà evidente, che si consumerà solo la metà di quel vapore, che sarebbe necessario, se la macchina fosse senza espansione, e che per ciò si avrà il risparmio della metà del combustibile, che si consumerebbe nell'ultimo caso. È pure facile il comprendere, che nella prima macchina l'effetto prodotto dal vapore sullo stantuffo è più della metà di quella, che

si avrebbe nella macchina senza espansione, il che ci assicura già la metà dell'effetto, e vi è poi da aggiungere tutto l'effetto, che si produce durante la seconda metà della corsa, il quale, sebbene sia molto minore di quello, che è prodotto nella prima metà, pure basta a far sì, che l'effetto complessivo o medio sia notevolmente maggiore della metà dell'effetto, che si avrebbe senza espansione. Si vede pertanto, che con questa possiamo consumare solamente una metà del vapore, ed ottenere più che la metà della forza, mentre se la macchina è senza espansione, col risparmiare la metà del vapore si otterrebbe solamente la metà dell'effetto.

579. Generatore del vapore. — Il *generatore del vapore* ossia la caldaia ha varie forme secondo la tensione, che deve sopportare, e lo spazio che deve occupare. Consiste per lo più in un grosso cilindro cavo, metallico, orizzontale, che si empie d'acqua più della metà, e che ha sotto di sè, cioè dalla parte rivolta al fuoco, altri tubi paralleli, detti *bollitori*, con cui comunica, ed i quali servono a far riscaldar meglio l'acqua, essendo circondati dal fuoco. Allorchè si desidera una celere ed abbondante produzione di vapore, si fa che il cilindro principale sia attraversato da un gran numero di tubetti aperti da ambedue le parti, per i quali si fanno passare i gas, che si producono nella combustione, il fumo e l'aria calda, le quali sostanze attraversando l'acqua prima di entrare nel camino, contribuiscono moltissimo a riscaldarla.

580. Valvola di sicurezza. — Ogni caldaia a vapore deve esser munita di una o più *valvole di sicurezza*, le quali si aprono spontaneamente, allorchè il vapore si è tanto addensato da minacciare la rottura della caldaia. Aperta la valvola, il vapore esce per essa, finchè diminuita la sua tensione la valvola non venga di nuovo a chiudersi. Le valvole di sicurezza sono di due specie (fig. 302), cioè *a peso* M, *a molla* N. La prima consiste in un foro conico *a* aperto nella parte superiore della caldaia, il quale foro è tenuto chiuso a tenuta di vapore da un tronco di cono metallico *b*: una verga metallica *CD*, che può rotare verticalmente intorno al punto C, riposa sopra la testa del detto tronco di cono, e lo preme contro il foro. Alla detta verga sta annesso un peso R simile al marco d'una stadera, il quale può avvicinarsi alla valvola od allontanarsene, secondo che si voglia premere meno o più il tronco di cono. La valvola a molla differisce dalla prima in quanto che il tronco di cono *b'* è premuto contro il foro *a'* da una molla a spirale *p*, il cui estremo superiore è annesso ad una sbarra orizzontale *mn*, che per mezzo di due viti si può abbassare od innalzare secondo il grado di pressione, che si vuole esercitare contro alla valvola.

581. Galleggiante e fischietto. — L'acqua della caldaia si consuma rapidamente col convertirsi in vapore, ond'è necessario ogni tanto rifonderla. È poi di somma importanza lo stare attenti, che la superficie di livello non abbia a discender molto entro al generatore, poichè se una parte della caldaia rivolta al fuoco non sia a contatto dell'acqua, che le tolga il calorico somministratole dalla sorgente, tal parte anderà ad arroventarsi, nel qual caso non solo può subire alterazione il metallo, ma può esservi pericolo, che nel rifondersi l'acqua nella caldaia, od oscillando l'acqua in

essa contenuta per un urto improvviso, vada il liquido a porsi in contatto colla parte arroventata, e si converta per ciò istantaneamente in vapore in tanta quantità, che non bastino le valvole di sicurezza a dargli un innocuo passaggio, ma producasi l'esplosione della caldaia. Era adunque necessario di trovare un apparato, che rendesse avvertito il macchinista della posizione della superficie di livello nell'interno del generatore. Servono a tal uopo il *galleggiante* ed il *fischietto*. Consiste il primo in una lamina di sovero o di altra sostanza leggera *p* (fig. 303), che galleggia sull'acqua della caldaia, ed è posta tra guide in modo da non potersi muovere orizzontalmente, ma solo verticalmente. È questa lamina legata ad un filo, che esce dalla caldaia per un piccolo foro a tenuta di vapore, e si accolla a due rotelle *a*, *b*, le quali sono rette da un montante *dba*. L'altro estremo del filo sostiene un pesetto *q*, il quale tanto più s'innalza, quanto più si abbassa entro alla caldaia la superficie di livello dell'acqua.

Il fischietto è formato d'un altro galleggiante, il quale invece del filo porta una verghetta verticale di metallo, che s'introduce in un forellino collocato nella parte superiore della caldaia, e la chiude perfettamente. Abbassandosi colla superficie di livello il galleggiante, esce finalmente l'asticella dal foro: allora il vapore erompe impetuosamente per la detta apertura, ed incontrando un dischetto, od il labbro d'una campanella di ottone soprastante, cagiona un acutissimo fischio, dal quale il macchinista è avvertito, che la caldaia ha bisogno d'acqua. Nelle locomotive il fischietto può aprirsi per mezzo d'una molla a piacere del conduttore per dare segni a distanza. Questo semplicissimo apparecchio è di molta utilità, sì perchè il fischio è così forte da udirsi a 2000 metri di distanza, come ancora perchè è un suono così particolare da non potersi scambiare con un altro qualunque.

582. Pulitura della caldaia. — La caldaia deve avere ancora un'apertura, chiusa da coperchio tenuto fermo con viti, di tale grandezza, che possa penetrare per essa nell'interno un uomo per nettare le pareti da un sedimento, che vi si forma poco a poco dalla deposizione delle sostanze, che l'acqua suole contenere. Se tale sedimento non venisse tolto via di tempo in tempo andrebbe a formare un'erta e compatta crosta terrosa, la quale tanto per la sua grossezza, quanto per la sua cattiva conduttricità sarebbe un grave ostacolo al riscaldamento dell'acqua. Inoltre non essendo più l'acqua a contatto delle pareti della caldaia, questa si potrebbe arroventare, ed assai si dilaterebbe. Non dilatandosi egualmente la crosta terrosa, questa si screpolerebbe; onde tornando l'acqua improvvisamente a contatto del metallo arroventato, potrebbe fare esplodere il generatore. Si è veduto, che versando nell'acqua della caldaia una poltiglia di pomi di terra, il sedimento non prende più la consistenza d'una crosta solida, ma rimane nel fondo a guisa di fango. Non è però bene di lasciarlo ivi accumulare, e per ciò è sempre necessaria l'anzidetta apertura.

583. Stato sferoidale dell'acqua nella caldaja. — Perkins ha potuto conoscere, che l'acqua della caldaja può prendere lo stato sferoidale (559). Avendo egli adattato un robinetto nel fondo

d'una caldaja contenente acqua, dopo di averla assai riscaldata aprì il robinetto, e vide, che invece di effluire da questo l'acqua, quantunque la pressione interna fosse enorme, esciva un getto di vapore. Ciò avveniva al certo, perchè l'acqua, prendendo lo stato sferoidale, non era più a contatto del fondo. È manifesto il pericolo, che si corre, quando ciò avvenga. Se l'acqua non tocca le pareti della caldaja, queste si arroventano, nel qual caso, quando all'improvviso venisse a cessare lo stato sferoidale, si produrrebbe istantaneamente tanta quantità di vapore da fare esplodere il generatore, quantunque fornito di più valvole di sicurezza. Deve pertanto il macchinista vigilare assai, perchè non abbiano mai a riscaldarsi soverchiamente le pareti della caldaja.

584. Tiro del camino. — Nelle macchine senza condensatore il vapore, che ha lavorato, s'immette nel tubo, che serve da camino per il fumo della fornace; il che è di massimo vantaggio per tener viva la combustione. In realtà, perchè una fornace arda bene, è necessario un alto camino, poichè l'aria contenuta in questo (come meglio vedremo in altro luogo (676)), riscaldandosi e mescolandosi coi fluidi aeriformi caldissimi, che sorgono dal combustibile, diventa assai leggiera, e perciò s'innalza ed esce dalla canna del camino; onde nell'interno di questo si formerebbe un vuoto, se non fosse ripienato dall'aria esterna, la quale entrando per la bocca della fornace, e passando per il combustibile, sale per il camino e sbocca nell'atmosfera. Questa corrente avviva il fuoco, come il soffio continuo d'un mantice. È poi ben chiaro, che quanto più grande è la massa d'aria contenuta nel camino, tanto maggiore deve essere il detto soffio. Perchè adunque la combustione sia assai viva, dovrà farsi la canna o assai larga, o molto alta. Ma la molta larghezza sarebbe dannosa, perchè in una canna ampia facilmente si stabiliscono due corsi di aria, uno che sale e l'altro che discende, ed in tal caso il camino *fa fumo*. Onde è necessario di appigliarsi all'altro partito, di fare cioè il camino molto alto. Ciò notato, si rifletta, che nelle locomotive esigendosi una corrente grandissima, perchè sia tanto viva la combustione da produrre una somma quantità di vapore, si dovrebbe fare ben alto il camino. Questo però non era possibile, perchè oltre alla difficoltà di fare i tunnel di proporzionata altezza, gli alti camini esporrebbero la macchina al pericolo di rovesciarsi. Si risolvette il problema di avere un forte tiro con bassi camini, facendo passare per questi il vapore, che ha già lavorato, perchè questo caccia in su l'aria, ed in parte condensandosi in acqua, produce una specie di vuoto, che deve essere ripienato dall'aria esterna.

585. Volante e moderatore a forza centrifuga. — A completare la descrizione delle varie parti della macchina a vapore, rimane di far parola del *Volante* e del *Moderatore a forza centrifuga*. Nelle macchine fisse da filare, torcere, ecc., spesso si richiede una grande uniformità di moto, la quale non si ha tanto facilmente nel vapore, che per piccolo cambiamento di temperatura molto varia di tensione, ma si può ottenere coi due congegni ora menzionati. Consiste il volante in una grande ruota di metallo ed assai pesante, la quale è quella, che immediatamente è messa in

moto dal vapore. Questa ruota, una volta che abbia acquistata una velocità, non la cambia facilmente a motivo del suo gran peso, e per ciò poco risente i piccoli cambiamenti di tensione del vapore.

Meglio però serve allo scopo l'altro apparato (fig. 304). La ruota, che è messa in movimento dal vapore, per mezzo di una fune continua *mn* e d'una ruota orizzontale B fa girare velocemente intorno a sè stesso il piccolo asse verticale AC. Alla cima di questo sono congiunte a snodatura due verghe metalliche, le quali al loro estremo portano appese due masse pesanti P, P'. Due altre verghe *bd*, *cd* sono congiunte a snodatura da una parte colle prime, e dall'altra con un cannello metallico infilzato nell'asse CA, e che è attaccato all'estremo d'una leva, la quale col sollevarsi va a chiudere alquanto il foro, per cui passa il vapore dalla caldaja al cilindro motore. Si supponga ora, che la ruota messa in movimento dal vapore vada più celere del dovere; farà essa girare più velocemente l'asta verticale del moderatore; quindi i pesi P, P', aumentandosi la forza centrifuga, si allontaneranno di più dall'asta verticale, e tirando in alto le verghette *bd*,*cd*, solleveranno il cannello *d*, e con ciò si verrà a ristringere il foro, per il quale entra il vapore; onde la macchina scemerà di forza, ed il moto avverrà con velocità minore. Succederà tutto il contrario per una diminuzione di velocità della ruota messa in movimento dal vapore.

586. Brevi cenni storici intorno all' invenzione delle macchine a vapore. — Alcuni ammettono che l'invenzione delle macchine a vapore sia molto antica, poichè Erone di Alessandria 120 anni prima dell'era volgare descrisse l' Eolipila, che con quelle ha qualche relazione. Risulta inoltre, che nel secolo decimo il Papa Silvestro II adoperò la forza del vapore acqueo per mettere in moto alcuni organi ed orologi, e che nel 1629 Giovanni Branca architetto romano usò del getto rapido del vapore, che esciva da un tubo conduttore e batteva nelle ali d'una ruota, a muovere una macchina. Si deve però confessare, che questi tentativi nulla avevano che fare colle presenti macchine, nelle quali si mette a profitto la forza espansiva del vapore, che fassi esercitare contro un embolo. Fu Papin il primo, che ideasse l'odierna macchina a vapore e la prima, che abbia funzionato, fu costruita da Savery, Newcomen, e Cawley nel 1711, e fu applicata ad estrarre le acque da una cava di carbon fossile nella contea di Wamvick.

La detta macchina era a semplice effetto (577) e per ciò non avrebbe avuto grandi applicazioni, ma dètte occasione al genio di James Watt Scozzese d'ideare le macchine a doppio effetto. Si deve a questo grand'uomo, se la macchina a vapore è giunta a quella perfezione che ora ammiriamo.

Il primo che pensò ad applicarla alle navi fu il marchese Claudio Jouffroy, ma i suoi tentativi non furono coronati da esito felice, e lo scopo fu raggiunto dall'americano Fulton al principio del secolo attuale. Nel 1839 l'inglese Smith sostituì alle grandi ruote a palette un elice collocato sotto alla nave.

La prima locomotiva che abbia funzionato con buon successo su di una ferrovia, fu costruita nel 1814 per opera di Giorgio Stefenson

inglese; ma non si sarebbe mai ottenuta l'attuale velocità delle locomotive senza l'invenzione fatta dal francese Seguin della caldaja tubolare, in cui, come si accennò (579), il liquido è attraversato da un gran numero di tubi, per cui passano l'aria calda ed il fumo provenienti dal focolare. Devesi in fine a Roberto Stefenson la felice idea di far passare il vapore, che ha lavorato, per la canna del camino (584).

CAPO IX.

IGROMETRIA

587. *Presenza del vapor acqueo nell'atmosfera* — 588. *Stato igrometrico dell'aria* — 589. *Processo chimico per determinarlo* - 590. *Igrometro a capello di Saussure* — 591. *Tavola di Gay-Lussac* — 592. *Tavola di Regnault* — 593. *Costruzione dell'igrometro a capello* — 594. *Igrometro a condensazione* — 595. *Igrometro di Daniell* — 596. *Igrometro di Regnault* — 597. *Igrometro per misurare l'umidità dell'aria espirata* — 598. *Quantità d'aria resa satura dal vapore acqueo esalato in un'ora dal corpo umano* — 599. *Psicrometro.*

587. Presenza del vapore acqueo nell'atmosfera. — Abbiamo detto in altro luogo (542), che continuamente dai mari, dai fiumi, ecc. si sollevano quantità immense di vapore acqueo, che si mescola coll'atmosfera, ove trovasi in uno stato spesso invisibile. Con tutta facilità si può constatare la presenza del vapore acqueo nell'aria. Si empia d'acqua fredda una bottiglia, e si tenga ferma. Dopo breve tempo freddandosi l'aria atmosferica, che la circonda, e diminuendosi per ciò in questa la capacità a contenere il vapore (543), lo depositerà sulle pareti esterne della bottiglia, sulle quali si formerà un velo d'acqua. Che se ad ottenere un tale deposito non sia sufficiente l'abbassamento di temperatura prodotto dall'acqua, basterà a raggiungere lo scopo versare dentro alla bottiglia una miscela frigorifera (528). Vi sono delle sostanze che godono della proprietà d'assorbire il vapore acqueo, togliendolo all'atmosfera, ed una di queste è il cloruro di calcio. Or bene posto un pezzo di questa sostanza ben disseccata nel piatto d'una sensibile bilancia, si metta nell'altro piatto un peso, che le faccia equilibrio. Dopo un qualche tempo questo sarà turbato per aumento di peso del cloruro, aumento proveniente dall'acqua assorbita, la quale forma uno strato ben visibile. Non basta però conoscere che l'aria contiene vapore acqueo, ma interessa sapere in che proporzione ve ne sia, la quale proporzione è assai variabile. Tale ricerca è l'oggetto dell'*igrometria*.

Rammentare qui dobbiamo, che allora l'aria dicesi satura di vapore (543), quando ne contiene in tanta quantità, quanta ne può contenere disciolta, od in altri termini, quando la forza elastica

del vapore acqueo mescolato coll'aria è eguale alla sua tensione massima nel vuoto alla medesima temperatura.

588. Stato igrometrico dell'aria. — Dicesi *stato igrometrico* dell'aria il rapporto che passa tra il peso del vapore acqueo, che attualmente esiste in un dato volume d'aria, ed il peso del vapore, che il medesimo volume d'aria conterrebbe se fosse saturo all'attuale temperatura. Riflettendo poi, che le tensioni elastiche di due volumi eguali di vapore ad una medesima temperatura debbono stare fra loro come le loro densità, ossia come i loro pesi; si comprenderà, che al detto rapporto dei pesi si può sostituire quello delle tensioni; sicchè si può dire, che lo stato igrometrico è dato dal rapporto, che passa tra la tensione attuale del vapore e la tensione massima del medesimo alla presente temperatura. Siccome la tensione massima del vapore cresce colla temperatura (566), avviene che lo stato igrometrico dell'aria non cambia solo col variare della quantità d'acqua in essa contenuta, ma ancora col cambiarsi del suo grado di calore. Passiamo ad esporre i principali metodi, coi quali si misura lo stato igrometrico dell'aria.

589. Processo chimico. — È A (fig. 305) un tubo detto *aspirante*, che consiste in un recipiente cilindrico terminante ai due estremi in due tronchi di cono muniti di tubo, che possono aprirsi e chiudersi per mezzo di robinetti. Il tubo superiore comunica con un sistema d'altri tubi piegati ad U e pieni d'una sostanza igrometrica, tale cioè che abbia una grande affinità per l'acqua, ad esempio di pezzi di pomice imbevuti d'acido solforico. La capacità d'A deve essere conosciuta. Quando si vuole misurare lo stato igrometrico dell'aria, si pesa esattamente la sostanza igrometrica contenuta nei tubi t, t', ed aperti i robinetti di A, si fa sgorgare l'acqua di cui il tubo aspirante è pieno. Si forma con ciò nell'interno del vaso un vuoto, il quale è ripienato dall'aria atmosferica, che per penetrare nel vaso è obbligata a passare per la sostanza diseccante, cui cede tutto il vapore acqueo che contiene. Pesando dopo di ciò di nuovo la sostanza igrometrica, si troverà aumentato il suo peso; e tale aumento esprimerà il peso dell'acqua che è contenuta in un volume V d'aria eguale alla capacità del vaso aspirante. Trovato in tal modo il peso p del vapore acqueo contenuto in un volume V di aria, ci rimane di determinare il peso P del vapore acqueo, che si sarebbe trovato nel medesimo volume d'aria, se essa fosse allo stato di saturazione. Nella tavola delle tensioni del vapore dell'acqua (566) si trovi la tensione massima di detto vapore alla temperatura attuale, e si richiami alla memoria, che il peso del vapore dell'acqua si ha col moltiplicare il peso d'un egual volume d'aria ad egual temperatura e pressione per la densità di esso vapore (523). Sia t la temperatura dell'aria nel momento dell'esperimento, e q la tensione massima a quel grado di calore: si dovrà determinare il peso d'un volume V d'aria alla temperatura t ed alla pressione q. Un metro cubo d'aria alla pressione di mm. 760 ed a zero gradi pesa (523) grammi 1293; ma questo metro cubo alla temperatura t sarà divenuto m. c. $1+\alpha t$, essendo α il coefficiente di dilatabilità dell'aria eguale a 0,00367

(519), e perciò il peso d'un solo metro cubo a questo grado di calore sarà grammi $\frac{1293}{1+\alpha t}$, rimanendo però la pressione di mm. 760. Ora per la legge di Mariotte (179) il detto volume alla pressione d'un solo millimetro verrebbe 760 volte più grande, e quindi il peso d'un metro cubo sarebbe 760 volte più piccolo, cioè sarebbe grammi $\frac{1293}{(1+\alpha t)\,760}$, e per la medesima ragione alla pressione di millimetri q il detto peso passerebbe ad essere q volte più grande, cioè grammi $\frac{1293 \times q}{(1+\alpha t)\,760}$. Se questo è il peso d'un metro cubo, quello di mc. V sarà grammi $V \times \frac{1293 \times q}{(1+\alpha t)\,760}$.

Essendo in fine la densità del vapore acqueo 0,622 (524), il peso P del vapore, che dovrebbe contenersi in un volume V d'aria riscaldata a t gradi ed allo stato di saturazione sarà espressa da grammi $V \times \frac{1293 \times q}{(1+\alpha t)\,760} \times 0{,}622$. Essendosi così trovati i valori p, e P, ci sarà noto lo stato igrometrico, che è espresso dal rapporto $\frac{p}{P}$.

590. Igrometro a capello. — I capelli esposti all'aria umida si allungano, ed al contrario si accorciano quando siano esposti all'aria secca. Su questa proprietà dei capelli è fondato l'igrometro di Saussure. Un lungo capello sgrassato in una debole lisciva di carbonato di soda, o lavato nell'etere, quindi più volte lavato con acqua, ed in fine disseccato nell'aria, si fissa, con uno dei suoi estremi ad una pinzeta P (fig. 306) congiunta al lato superiore d'un telaio rettangolare, mentre l'altro estremo è fissato invariabilmente ad un punto d'una delle due gole d'una carrucola doppia mobilissima intorno al suo asse orizzontale. Nell'altra gola è involto nel medesimo senso del capello un filo, che ad un estremo porta attaccato un pesetto p di circa due decimi di grammo destinato a tener teso il capello. Un ago leggero B unito alla carrucola si muove avanti ad un quadrante H graduato. Nell'aria secca il capello s'accorcia, e l'estremo B dell'ago si abbassa; viceversa nell'aria umida il capello si allunga e B si solleva. Si sogliono determinare due punti fissi estremi della scala, cioè l'estremo d'umidità, in cui si segna 100, ed il punto d'estrema siccità, che si nota con zero. Il primo punto si ottiene, ponendo l'istrumento entro ad una campana, il cui fondo e pareti sono bagnate d'acqua distillata, e che è chiusa da un vetro ingrassato, perchè sia a tenuta d'aria. L'aria quivi racchiusa si va sempre più inumidendo, e l'ago ascende rapidamente, e dopo qualche ora esso raggiunge un'altezza, che si conserva costante, ancorchè ivi si lasci l'apparato per qualche giorno. È questo il punto d'estrema umidità e vi si segna 100. Dopo ciò l'istrumento si pone entro ad un'altra campana disseccata con tutta cura, ed il cui fondo e pareti si coprono d'acido solforico concentrato, il quale toglie tutto il vapore acqueo

all'aria racchiusa. L'igrometro va abbassando un poco alla volta l'indice, e dopo molto tempo, ossia dopo 15 giorni circa, raggiunge il massimo abbassamento: nel punto, ove l'indice si ferma, si segna lo zero. Si divide l'intervallo fra i due punti così determinati in 100 parti eguali, che sono i gradi dell'igrometro. Nei nostri climi generalmente l'igrometro a capello segna, ad uno stato igrometrico intermedio, circa 70°, non arriva mai a 100° nemmeno dopo le più abbondanti pioggie, ed anche nelle massime siccità è assai raro, che segni meno di 30°.

591. Tavola di Gay-Lussac. — L'esposta graduazione non indica esattamente gli stati igrometrici, i quali non sono proporzionali ai suddetti gradi; ond'è che sarebbe errore il credere, che quando l'igrometro segna 50° l'aria sia precisamente semisatura. Gay-Lussac ha formato una tavola, nella quale ha notati gli stati igrometrici corrispondenti ai varii gradi dell'igrometro a capello alla temperatura di 10°. Il detto fisico è partito da un principio ben verificato, che cioè i vapori forniti da una soluzione salina o acida hanno una tensione massima tanto più debole a temperatura eguale, quanto più considerevole è la quantità d'acido o sale disciolti: ciò è quanto dire, che se il vapore acqueo sorge da una soluzione assai concentrata di acido o sale, il vapore stesso giunge ben presto al massimo grado di tensione, quantunque l'aria non siasi inumidita; che se la soluzione è meno concentrata, se ne solleva una maggiore quantità. Fondandosi su questo principio, Gay-Lussac collocava l'igrometro sotto una campana, nella quale trovavasi una soluzione salina, od acqua acidulata, e quando l'evaporazione cessava di essere efficace, notava il grado segnato dall'igrometro. Allora per conoscere quanta era la tensione del vapore, faceva passare nella camera di un barometro alquanto della medesima soluzione. Questa, evaporando in parte, veniva a deprimere la colonna mercuriale, e tale depressione forniva la tensione del vapore acqueo nella campana, poichè allo stato di saturazione ed a temperatura eguale la forza elastica d'un vapore è la stessa tanto nel vuoto che nell'aria (568). Se chiamisi con f tale tensione del vapore acqueo nella campana, e con F la tensione massima del vapore sorto dall'acqua pura alla medesima temperatura, sarà noto lo stato igrometrico $\frac{f}{F}$, che ha luogo quando l'igrometro segni quel grado, ed il termometro quella data temperatura. In tal modo, usando soluzioni più o meno concentrate, potè Gay-Lussac inumidire l'aria della campana in maniera da fare indicare all'igrometro i varii gradi, e trovare i corrispondenti stati igrometrici, ma sempre al medesimo grado di calore 10°. Si comprende come si possano fare tavole consimili per qualunque grado del termometro.

592. Tavola di Regnault. — Con metodo consimile Regnault ha formata una tavola, che dà per mescolanze d'acido solforico e di acqua prese in proporzioni ben determinate gli stati igrometrici dell'aria messa a contatto di questi liquidi a temperature che variano di grado in grado tra i 5° ai 35°. Ci limitiamo a darne un saggio.

TEMPERATURA	Acqua pura ten. massima	$SO^3 4HO$ st. igrom.	$SO^3 5HO$ st. igrom.	$SO^3 6HO$ st. igrom.	$SO^3 8HO$ st. igrom.	$SO^3 10HO$ st. igrom,	$SO^3 12HO$ st. igrom.	$SO^3 18HO$ st. igrom.
10	9,165	0,1309	0,2507	0,3305	0,4873	0,6303	0,7005	0,8114
15	12,699	0,1298	0,2106	0,3319	0,4877	0,6268	0,8083	0,8379
20	17,391	0,1288	0,2145	0,3329	0,4882	0,6227	0,7082	0,8327

Si sono formate le dette mescolanze col prendere l'acido solforico monidrato puro di commercio, che marchi 66 nell'areometro di Baumè (105), ed aggiungendo a 49 equivalenti di SO^3HO 27 equivalenti di acqua, ossia 3HO, si otterrà $SO^3 4HO$. Si prendano, ad esempio, chilogrammi 4,9 di acido solforico monidrato, e chilogrammi 2,7 di acqua distillata, si avrà così l'acido con 4 equivalenti d'acqua: coll'aggiungere le quantità d'acqua HO, 2HO, 4HO... avremo gli altri preparati, di cui ci possiamo servire per graduare l'igrometro.

593. Costruzione dell'igrometro a capello. — Saussure consiglia di fare bollire i capelli posti in un'insacca di tela nella lisciva formata d'un litro d'acqua e 10 grammi di carbonato di soda per una mezz'ora, e quindi farli bollire nell'acqua pura, sciacquarli poi assai bene, ed infine asciugarli. Si fissa il capello scelto nella pinzetta, e nella carrucola, e perchè il capello abbia la conveniente lunghezza, si fa che la pinzetta per mezzo d'una vite possa elevarsi ed abbassarsi. Invece di dividere il quadrante in 100 parti eguali, è meglio tracciarvi una divisione arbitraria in parti eguali, e di formare delle tavole, nelle quali secondo le varie temperature siano segnati gli stati igrometrici corrispondenti alle varie divisioni indicate dalla lancetta dell'igrometro sulla scala arbitraria. Per apprendere come si formino le dette tavole, s'immagini, che si abbia a compilare quella che serve nel caso in cui il termometro segni 10°. Ottenuta questa temperatura l'igrometro è posto dentro alla campana bagnata d'acqua distillata, e si nota nella tavola la divisione del quadrante, avanti a cui si ferma l'indice, e vicino si segna lo stato igrometrico 1, ossia $\frac{100}{100}$. Invece dell' acqua distillata si ponga nella campana la soluzione acida $SO^3 18HO$, e quando la freccia siasi resa stazionaria, si nota nella tavola la divisione, innanzi a cui si è fermato l'indice, e vicino si scrive lo stato igrometrico, che come apparisce dalla tavola di Regnault è $\frac{84}{100}$. Lo stesso si fa per gli altri idrati e per le altre temperature. Operando però così, sarebbero pochi gli stati igrometrici notati in ciascuna tavola : come adunque si avrebbero gli altri stati corrispon-

denti alle divisioni del quadrante intermedie a quelle notate? Rispondiamo, che in ciascuna tavola non solo debbono segnarsi i gradi igrometrici corrispondenti alle 8 divisioni disopra notate, ma ancora gli altri, che si ottengono costruendo la seguente curva (fig. 307). Trattandosi, ad esempio, di compilare la tavola per la temperatura di 10°, si conduce una retta orizzontale indefinita *a*B divisa in un numero di parti eguali, che sono pure eguali in numero alle divisioni arbitrarie fatte nel quadrante. Nel punto *a* che corrisponde alla posizione dell'indice nell'estrema umidità, si eleva una perpendicolare, che si prende eguale a 100 unità, per esempio a 100 millimetri. Al punto *b* corrispondente alla divisione, innanzi a cui l'ago si arresta, allorchè l'igrometro è immerso nell'aria posta a contatto dell'idrato $SO^3 18HO$, si eleva un'altra normale lunga mm. 84. Nel punto *c* che corrisponde alla posizione dell'indice, allorchè s'impiega l'idrato $SO^3 12HO$, si alza una perpendicolare lunga mm. 70, e così di seguito. Per le teste H, M, N... di esse normali si fa passare una curva. Quando si voglia conoscere lo stato igrometrico corrispondente ad una divisione qualunque *d*, si eleva la perpendicolare *d*L e si misura, e se essa fosse di mm. 62, lo stato igrometrico sarebbe $\frac{62}{100}$.

Regnault ha confrontati più igrometri formati con capelli della stessa specie e preparati in diversa maniera, ed ha veduto, che presentano delle diversità grandissime nelle loro indicazioni, quantunque bene si accordino nelle divisioni estreme. Altri fisici poi hanno verificato, che se i capelli sono della medesima specie e preparati rigorosamente nel medesimo modo, le loro indicazioni sono tanto poco differenti da potersi ritenere comparabili fra di loro. Per il che se siasi troncato il capello di un igrometro, potrà porsene in sua vece un altro, purchè sia della medesima specie e sgrassato nel medesimo modo, determinando alcuni punti per mezzo degli idrati conservati a tal uopo.

594. Igrometro a condensazione. — Il medico Leroy verso la metà dello scorso secolo ideò un altro metodo per determinare lo stato igrometrico dell'aria. Si abbia un recipiente cubico di latta, le cui pareti esterne siano ben polimentate, e questo si empia di acqua, che si faccia un poco per volta raffreddare coll'immergervi dei pezzi di ghiaccio. Essendo ben sottili le pareti del recipiente, la temperatura dell'acqua si comunicherà allo strato d'aria, che con quelle trovasi a contatto. La forza elastica del vapore acqueo nell'aria rimane costante, perchè non trovasi a contatto con un eccesso di liquido, e non si cambia il peso comprimente. Si arriverà però ad un punto tale di temperatura, in cui l'aria diventa satura di vapore, ed allora per poco che la temperatura si abbassi di più, si formerà nelle pareti del recipiente come un velo di rugiada nato dal deposito dell'eccedente vapore acqueo dell'aria. Un termometro immerso nel vaso mostra la temperatura del *punto di rugiada*. Si cerca nella tavola (566) la tensione massima del vapore acqueo a quel grado di calore, e tale tensione sarà quella stessa, che ha attualmente il vapore contenuto nell'atmosfera. Se adunque essa tensione si divida per la massima relativa alla temperatura atmo-

sferica indicata da un altro termometro, il quoto ci darà lo stato igrometrico.

595. Igrometro di Daniell. — Sul principio del precedente è fondato l'igrometro di Daniell, il quale si compone (fig. 308) di un tubo di cristallo piegato in due punti ad angolo retto, e terminante in due bulbi A, B. La sfera A è piena per due terzi di etere, nel quale è immerso il serbatoio d'un piccolo e sensibile termometro racchiuso nel tubo. Questo ramo si fa più lungo dell'altro, affinchè le due palle distino di più fra loro. Il bulbo B e tutto il tubo debbono essere completamente privi di aria, il che così si ottiene: la palla B si fa terminare in punta aperta, ed il globo A contenente l'etere s'immerge nell'acqua riscaldata a circa 40°. L'etere allora si pone in ebollizione, e quando il suo vapore, empiendo tutto il tubo e la palla B, ne ha totalmente scacciata l'aria, si chiude la punta di B, fondendola alla lampada. Allorchè si voglia conoscere lo stato igrometrico dell'aria, si copre la palla B con un pezzo di mussolina, e su questa si versa etere goccia a goccia. Questo liquido, evaporando rapidamente, raffredda il bulbo, e condensa i vapori eterei ivi contenuti. Siccome allora secondo il principio di Watt (565) si diminuisce la tensione del vapore insistente sull'etere liquido del bulbo A; quest'etere fornisce tosto nuovi vapori, che vanno parimente a condensarsi nell'altra sfera, e così di seguito. Ora a misura, che succede l'evaporamento, l'etere contenuto in A si raffredda sempre più, e si giunge ad un momento, in cui l'aria, la quale sta in contatto della bolla A, e che si raffredda con essa, arriva alla temperatura, a cui il vapore acqueo, che contiene, è sufficiente a saturarla. Per un altro piccolo raffreddamento esso vapore si deposita sulla palla A sotto forma di sottile strato di rugiada, che costituisce un anello intorno alla superficie di livello dell'etere, perchè ivi precisamente ha luogo l'evaporamento (542), e quindi il massimo assorbimento di calore. Il termometro interno indica la temperatura del punto di rugiada. Per averlo con più esattezza è bene di notare il grado del termometro, nel quale si comincia a vedere il deposito acqueo, e quello in cui, riscaldandosi il tubo, il detto deposito svanisce, e prendere la media di queste due temperature. Conviene poi badare, che durante l'operazione la palla B sia esposta ad una corrente d'aria, affinchè l'evaporamento dell'etere sulla mussolina sia rapido. Finalmente per rendere più visibile il deposito di rugiada, si costruisce ordinariamente la sfera A in vetro nero o si copre di una sottilissima lamina di metallo assai polimentata. Un secondo termometro C portato dal montante dell'apparato indica la temperatura dell'atmosfera.

596. Igrometro di Regnault. — Il descritto igrometro di Daniell è difettoso in quanto che l'evaporamento nella sfera A non raffredda egualmente tutto l'etere, ma più quello che sta alla superficie di livello; per la qual cosa il termometro in esso liquido immerso non può indicare con precisione la temperatura del punto di rugiada. Di tal difetto è privo l'igrometro di Regnault, che si compone di due ditali d'argento m, n (fig. 309) a pareti assai sottili e terse dell'altrezza di mm. 45, e del diametro di mm. 20; nei quali ditali penetrano gli estremi di due tubi di vetro D, E, di cui cia-

scuno contiene un termometro assai sensibile fissato nel coperchio. Il coperchio di D è attraversato ancora da un tubo A, il quale è aperto ad ambedue gli estremi, ed arriva al fondo del ditale. Finalmente esso tubo D è posto in comunicazione per mezzo del piede del sostegno con un aspiratore G pieno di acqua, con cui non comunica l'altro tubo E, solamente destinato a sostenere il termometro *t*, che serve a notare il grado di calore dell'aria. Quando si vuole usare dell'igrometro si versa etere in D fino alla sua metà; poi si apre il robinetto dell'aspiratore. L'acqua effluisce, e l'aria si rarefà in D. Allora per effetto della pressione atmosferica entra l'aria esterna per il tubo A, e siccome quest'aria non può penetrare nel tubo D, e nell'aspiratore, se non passando attraverso dell'etere, riduce in vapore una parte di questo liquido, raffreddando per ciò l'altra parte tanto più rapidamente, quanto maggiore è l'afflusso della corrente. Il raffreddamento finalmente determina sul ditale un deposito di rugiada, ed allora si legge nel termometro T la temperatura del punto di rugiada. L'appannamento del ditale *m* si rende manifesto per il confronto col ditale *n*, che rimane sempre ben terso. In questo apparato, perchè la massa di etere è sempre agitata dall'aria che entra, tutto il liquido ha la stessa temperatura. Perchè poi la vicinanza dell'osservatore, e specialmente il suo alito, non abbiano a modificare lo stato igrometrico dell'aria ambiente, è bene di fare le osservazioni in distanza mediante un cannocchiale. Molto bene poi si determina la temperatura, in cui comincia la rugiada, operando così. Si supponga, che aperto l'aspiratore siasi depositata la rugiada abbondantemente, segnando il termometro immerso nell'etere 12°. Si chiude l'aspiratore, ed allora la rugiada si dilegua ed il termometro passa a 13°, punto superiore alla formazione del deposito acqueo. Si apra allora pochissimo il robinetto, cosicchè per la debole evaporazione la temperatura sia di 12°,9. Se non si forma dopo qualche istante la rugiada, sarà segno che la temperatura 12°,9 è superiore al punto di rugiada. Aprendo quindi un poco di più il robinetto, si ravviva l'evaporamento, cosicchè il termometro interno segni 12°,8. Se si formi dopo ciò ben presto il deposito di vapore, sarà segno che la vera temperatura, a cui corrisponde il punto di saturazione dell'aria, è minore di 12°,9, maggiore di 12°,8, ossia è 12°,85.

597. Apparato per misurare lo stato igrometrico dell'aria espirata. — Il ch. Gréhant si è servito del principio di Leroy (594) per determinare l'umidità dell'aria espirata. Sia S (fig. 310) un recipiente cubico di latta pieno d'acqua calda, che abbia una delle sue facce esterne inargentata ed assai polimentata. Nell'interno di esso ed assai vicino alla parete inargentata vi sia un termometro T. L'acqua si andrà raffreddando un poco alla volta, e perchè la temperatura rimanga uniforme in tutta la massa liquida, si deve questa continuamente agitare. Si soffi intanto sulla faccia polimentata; verrà un istante, in cui su questa si formerà un leggiero velo di rugiada, e se allora si osservi il termometro, si vedrà esso notare 38°. Se si concludesse che l'aria espirata contiene tanto vapore acqueo da esser satura alla temperatura di 38°, sarebbe grave errore. Vaglia il vero, si sa, che quando l'ambiente

ha una temperatura di 23°, quella dell'aria espirata è di 35°,3: non è adunque possibile, che sia satura ad un grado di calore maggiore del suo, ossia a 38°. Quello strato di rugiada è nato da che l'aria agitata dal soffio, essendo più fredda del vaso, ha raffreddata la superficie del vaso, portandola ad un grado di calore più basso di quello del liquido interno, e che è notato dal termometro; il quale abbassamento ha dato causa a quel leggero deposito acqueo, che appena si cessi dal soffio si dilegua, perchè la parete levigata riprende subito il grado di calore del liquido. Per avere un deposito di rugiada che sia permanente, e quindi capace a farci conoscere la tensione del vapore contenuto nell'aria espirata, bisogna operare nel seguente modo. Una campana C si mette colla sua bocca a contatto della superficie inargentata, ed avendo essa campana nella parte opposta una piccola apertura, questa viene chiusa da un turacciolo avente più fori. Per uno di questi penetra nella campana un cannello *t*, che va a terminare alla distanza di due centimetri dalla superficie polimentata. La campana è tutta coperta di ovatta. Si aspiri l'aria per le narici, e si espiri per la bocca entro al detto tubo centrale. In tal modo la corrente d'aria espirata va a spandersi sulla faccia del cubo, e si riflette dentro alla campana per andare ad escire all'esterno attraverso dei fori del turacciolo senza mettere in movimento l'aria ambiente in modo che questa possa raffreddare la faccia del cubo. Che se questa venisse ad abbassarsi di temperatura per il contatto dell'aria espirata, si formerebbe un piccolo deposito acqueo, ma fugace, cessando appena cessa l'espirazione: ma se la temperatura dell'acqua del vaso sia discesa un poco sotto a quella che corrisponde alla saturazione dell'aria espirata, si depositerà un velo di rugiada permanente. Per vedere questo deposito non è necessario di rimuovere la campana, che è ben fissata al recipiente, ma basta traguardare per il tubo *t*. Si vedrà nella parete inargentata l'immagine dell'occhio, e se questa è ben netta, sarà segno non aver ancora avuto luogo la rugiada; si sarà poi formato un deposito di vapore meno o più abbondante, secondo che la detta immagine o apparisce offuscata, o non si vede affatto. Per fare l'esperienza si versa nel vaso acqua calda a circa 38°, vi s'introduce il termometro, ed il recipiente si pone all'altezza della bocca, tenendolo sopra ad un sostegno che si agita continuamente. Si pone sulla faccia del cubo la campana coperta d'ovatta e d'una carta nera. L'apparato deve stare avanti ad una finestra, affinchè sia l'occhio bene illuminato. S'inspira l'aria per le narici, mentre la lingua tiene chiuso il tubo, e si espira per la bocca: di tempo in tempo l'occhio riguarda la sua immagine. Essendo la temperatura esterna di 22°, alla temperatura 35°,3 dell'acqua non si trova deposito; ma apparisce un piccolo velo a 35°,1, il qual velo viene ad essere abbondante a 35°, essendo l'aria espirata calda a 35°,3. Si può pertanto conchiudere, che l'aria espirata è sensibilmente satura di vapore acqueo alla sua temperatura naturale, mentre basta un piccolissimo abbassamento di questa per far nascere il deposito di rugiada.

598. Quantità d'aria resa satura in un'ora dal vapore esalato dal corpo umano. — È utile la risoluzione del seguente

problema: sapendosi che il peso del vapore acqueo esalato dalla pelle dell'uomo in 24 ore è circa un chilogramma, e mezzo chilogramma quello emesso nel medesimo tempo dal polmone, si determini quanti metri cubi x d'aria alla temperatura di 15°, ed il cui stato igrometrico sia $\frac{1}{2}$, saranno portati allo stato di saturazione in un'ora, supponendo che essa aria riceva tutto il vapore emesso da un uomo nel detto tempo.

I metri cubi x, essendo alla temperatura di 15° e ad uno stato igrometrico eguale a $\frac{1}{2}$, ed essendo la tensione massima del vapore acqueo a quel grado di calore mm. 12,7 (566), conterranno vapore, la cui forza elastica è mm. 6,35. Abbiamo veduto poco fa (589), che un metro cubo di aria alla pressione di mm. q ed a gradi di calore t pesa grammi $\frac{1293 \times q}{(1+\alpha t) 760}$; sostituendo quindi a q mm. 6,35 ed a t 15°, avremo il peso di un metro cubo d'aria alla pressione di mm. 6,35 ed alla temperatura 15° espresso da grammi $\frac{1293 \times 6,35}{(1+15\alpha) 760}$. Moltiplicando questo peso per la densità del vapore acqueo $\frac{5}{8}$, avremo il peso del vapore contenuto in un metro cubo d'aria, e quindi il peso di tutto il vapore contenuto in metri x espresso da $\frac{x \times 1293 \times 6,35 \times 5}{(1+15\alpha) \times 760 \times 8}$. Se l'uomo in 24 ore esala chilogrammi 1,50 di acqua, in un'ora sola ne esalerà grammi 62, 5. Aggiunta questa quantità alla precedente, avrassi il peso del vapore contenuto nei metri x d'aria saturata, il quale peso sarà $\frac{x \times 1293 \times 6,35 \times 5}{(1+15\alpha) \times 760 \times 8} + 62,5$.

Ma questo medesimo peso del vapore acqueo contenuto in x metri d'aria alla temperatura di 15° ed allo stato di tensione massima di mm. 12,7 si può ancora esprimere con $\frac{x \times 1293 \times 12,7 \times 5}{(1+15\alpha) \times 8}$

Dunque si potrà scrivere la seguente equazione:

$$\frac{x \times 1293 \times 6,35 \times 5}{(1+15\alpha) \times 760 \times 8} + 62,5 = \frac{x \times 1293 \times 12,7 \times 5}{(1+15\alpha) \times 760 \times 8}.$$

Isolando in questa x, si ottiene $x =$ m.c. 9,77.

Risulta pertanto, che il vapore esalato in un'ora dall'uomo è capace di render saturi poco meno di metri cubi 10 di aria, che trovisi a temperatura e stato igrometrico intermedii. Non deve adunque recare meraviglia, se tanto s'inumidisce l'aria in una sala ove siano molte persone, e se gli esperimenti di elettro-statica male riescano in presenza di molta gente.

599. Psicrometro. — Per conoscere lo stato igrometrico dell'aria, ora si usa generalmente dello *Psicrometro*, il quale è basato

sul seguente principio. Si bagni un termometro con acqua: questa evaporerà tanto più rapidamente, quanto più è secca l'aria ambiente. Ora quanto più rapido sarà l'evaporamento, tanto più si abbasserà la temperatura del termometro a motivo del calore, che rendesi latente (545). Adunque si potrà dall'abbassamento della colonna termometrica argomentare lo stato igrometrico dell'aria. Lo psicrometro ideato da August consiste in due sensibili termometri a piccoli serbatoj cilindrici, l'uno asciutto e l'altro coperto da sottile stoffa, che inzuppasi di acqua, e tenuti ambedue vicini, perchè si trovino entro ad una medesima qualità d'aria. Mentre il termometro asciutto denota la temperatura dell'aria, l'altro segna una temperatura più bassa a motivo dell'evaporamento. August costruì una formola, che fu poi modificata da Kaemtz, per mezzo della quale, conosciute le temperature t, t' notate dal termometro asciutto e dal bagnato, nota la tensione massima e' del vapore corrispondente alla temperatura t', e che si trova nella solita tavola (566), e nota infine la pressione p dell'atmosfera indicata dal barometro in millimetri, si viene a conoscere la tensione e, che ha attualmente il vapore contenuto nell'aria. La detta formola è la seguente: $e = e' - 0{,}0008464\,(t - t') \,.\, p$.

Conosciuta per tal mezzo l'attuale tensione del vapore, questa si divide per la massima tensione che al vapore compete alla temperatura t, ed il quoto, come è chiaro, esprimerà lo stato igrometrico. Siccome riescirebbe incomodo l'usare della formola nelle singole osservazioni, si è risoluto il problema per qualunque valore di p, t, t', ed i risultati si sono registrati in un'estesa tavola nella quale subito si rinviene lo stato igrometrico, quando conoscansi i valori di p, t, t'.

CAPO X.

CALORIMETRIA

600. Oggetto della calorimetria. — L'oggetto della calorimetria è la misura della quantità di calorico che si deve dare o sottrarre ad un determinato peso d'un dato corpo per ottenere in

questo un certo aumento o decremento di temperatura, come ancora la misura delle quantità di calorico necessarie per produrre in un corpo un passaggio di stato d'aggregazione.

601. Principii fondamentali. — Per l'intelligenza di quanto saremo per dire in questo capitolo dobbiamo esporre due principii ai quali spesso si dovrà ricorrere. Il primo per sè stesso evidente si è, che la quantità di calore, che deve prendere una determinata massa d'una sostanza, perchè la sua temperatura aumenti d'un dato numero di gradi, è eguale a quella, che deve perdere per diminuire d'altrettanto di temperatura, e così tornare alla primitiva.

Il secondo principio è, che la quantità di calorico necessaria per aumentare la temperatura d'un corpo di un dato numero di gradi è sempre la stessa qualunque sia la temperatura iniziale di esso corpo, cosicchè, ad esempio, la medesima quantità di calore si richiede per portare una massa di acqua da 5° a 10°, da 10° a 15°, da 15° a 20° ecc. Ciò così dimostrasi sperimentalmente. Si mescolino insieme un chilogramma d'acqua a 30°, ed un chilogramma d'acqua a 20°: sperimentando con un termometro la temperatura della miscela, la troveremo di 25°. L'acqua meno calda pertanto ha aumentato di 5° la sua temperatura a spese di quella dell'acqua più calda, che si è raffreddata di 5°. Ma abbiamo detto poco fa, che un chilogramma d'acqua deve perdere tanto calore nel raffreddarsi per 5°, quanto ne dovrebbe acquistare per riscaldarsi di 5°: dunque conchiuderemo, che nel presente esempio quella quantità di calorico, che riscaldava un chilogramma d'acqua da 25° a 30°, adesso ha riscaldato pure un chilogramma d'acqua da 20° a 25°; il che dimostra vero l'esposto principio.

602. Calorìa. — Si dirà qui a poco, che una medesima quantità di calorico comunicata a masse eguali di sostanze diverse, non eleva di un egual numero di gradi la loro temperatura. Quindi è che non può prendersi per unità di misura del calore il grado della scala termometrica. Invece si è presa per tale unità la *calorìa*, ossia quella quantità di calore, che è necessaria per riscaldare di un grado centesimale un chilogramma d'acqua.

603. Calorico specifico. — Che una medesima quantità di calorico comunicata a masse eguali di sostanze diverse aumenti disugualmente la temperatura di queste, è cosa ben provata. Se, ad esempio, si comunichi una calorìa ad un chilogramma d'acqua, ed una calorìa ad un chilogramma di mercurio, vedremo che mentre l'acqua si è riscaldata di un grado, il mercurio si è scaldato per 32°; dal che si deduce, che per aumentare di un grado un chilogramma di mercurio si richiede un trentaduesimo di calorìa. Si dice pertanto, che diversa è la *capacità dei corpi a contenere il calore*. Invero, il calore ricevuto dall'acqua è da essa così bene contenuto da mostrare pochissima tensione calorifica, mentre la medesima quantità di calore è più malagevolmente contenuta dal mercurio, e per ciò esso calore mostra più tensione. Dicesi poi *calorico specifico* di un corpo quella quantità di calorico, che è necessaria per aumentare di un grado la temperatura di esso. Quantunque la capacità a contenere calorico ed il calorico specifico

d'un corpo siano, come si è veduto, cose in sè stesse diverse; pure si sogliono confondere, perchè l'una è proporzionale all'altra, essendo manifesto, che quanto maggiore è la capacità d'un corpo per il calore, tanto maggior quantità di questo si richiede per aumentare d'un grado la temperatura di essa sostanza.

604. Metodo del raffreddamento per determinare il calorico specifico di un corpo. — Interessa moltissimo alla scienza di determinare con precisione il calorico specifico d'un corpo, ed a tale scopo più metodi si sono ideati. Il più semplice è quello che dicesi del *raffreddamento* ideato da Mayer ed usato da Dulong e Petit. Il principio, su cui si fonda, è che due corpi a parità di massa, aventi superficie eguali di estensione, di forma e di natura, dotati di eccessi eguali di temperatura sopra quella dell'ambiente, e posti in circostanze identiche, debbano perdere in un medesimo tempo le stesse quantità assolute di calorico; cosicchè tanto meno tempo una sostanza impiegherà a raffreddarsi, quanto minore è la sua capacità a contenere calorico, ossia quanto minore è il suo calorico specifico, essendo ben chiaro, che una data sottrazione di calore debba produrre un abbassamento di temperatura tanto più grande, quanto più piccolo è il calorico specifico della sostanza, a cui fassi la sottrazione. Si conchiude adunque, che i calori specifici di due sostanze sono proporzionali ai tempi impiegati a raffreddarli di un medesimo numero di gradi, purchè però le due sostanze siano di massa eguale e poste in circostanze tali da far perdere ad esse nel medesimo tempo eguali quantità di calorico. Ecco come questo principio fu applicato da Petit e Dulong. In un recipiente grande ACBD (fig. 311) è posto un altro recipiente EFGH a pareti interne annerite, e che può perfettamente chiudersi mediante un coperchio: lo spazio interposto ai due vasi suddetti si empie di ghiaccio a 0°. Il coperchio, che chiude il vaso interno, porta annesso un vasellino MNOP d'argento, il quale trovasi per ciò in uno spazio la cui temperatura è zero. In detto recipiente d'argento si racchiude il corpo, che si vuole sperimentare, e che deve trovarsi ad una temperatura di poco superiore a 10°, la quale è segnata dal termometro L. Per mezzo del tubo Q comunicante colla macchina pneumatica si fa il vuoto nel vaso EFGH. Il corpo collocato nel recipiente centrale ben tosto si raffredda, e quando sia giunto a 10°, si osserva un orologio, e si misura il tempo impiegato dal corpo a raffreddarsi per altri 5°. Fatta la stessa osservazione per un altro corpo, facilmente ne dedurremo il rapporto, che passa fra i calorici specifici delle due sostanze. Così, fatto l'esperimento prima sull'acqua e poi su di una egual massa di mercurio, si trova che quest'ultimo corpo impiega a raffreddarsi da 10° a 5° un tempo 32 volte minore di quello impiegato dall'acqua per subire il medesimo raffreddamento, e se ne deduce che il calorico specifico del mercurio è un trentaduesimo di quello dell'acqua, ossia è un trentaduesimo di caloria.

605. Metodo dei miscugli. — Assai più esatto è un secondo metodo usato da Regnault, e che dicesi *dei miscugli*. Si prenda un chilogramma di un corpo qualunque liquido o sminuzzato, ad esempio mercurio, e s'innalzi la sua temperatura a 33°, e quindi

si versi in un chilogramma d'acqua a zero gradi. Si vedrà che la miscela va a prendere la temperatura d'un grado. Adunque il mercurio ha perduto tanto calore da fare abbassare la sua temperatura di 32°, e questo calore acquistato dall'acqua, l'ha riscaldata d'un solo grado: il che evidentemente dimostra, essere il calorico specifico del mercurio un trentaduesimo di quello dell'acqua. Da questo esempio si apprende, che il metodo dei miscugli essenzialmente consiste nel mescolare ad una quantità d'acqua una egual massa del corpo, che vuolsi esaminare, ridotto in polvere ed elevato ad un grado di calore maggiore di quello dell'acqua, e misurare la temperatura del miscuglio. Si verrà così a conoscere di quanti gradi si è raffreddata quella data sostanza e di quanti gradi si è riscaldata l'acqua: dopo di che è agevol cosa dedurre il rapporto tra il calorico specifico della sostanza sperimentata e quello dell'acqua.

Sarà poi necessario, che la massa dell'acqua sia eguale a quella del corpo in essa immerso? No, purchè si usi della seguente formola. Sia M il peso dell'acqua in chilogrammi, t la sua temperatura, e siano P e T il peso e la temperatura dell'altro corpo, il cui calorico specifico incognito indicheremo con x; finalmente sia d la temperatura del miscuglio. Il raffreddamento del corpo immerso sarà di gradi $T-d$, e siccome un chilogramma di esso per l'abbassamento d'un grado perde calorìe x, per l'abbassamento di gradi $T-d$ avrà perdute calorìe $x\,(T-d)$, e quindi la perdita subìta da chilogrammi P sarà espressa da $xP\,(T-d)$. L'acqua poi ha aumentata la sua temperatura di gradi $(d-t)$, e siccome ogni chilogramma d'acqua deve acquistare una calorìa per ogni grado d'aumento, per l'acquisto di gradi $(d-t)$, avrà dovuto ricevere calorìe $(d-t)$. Che se tale è l'acquisto fatto da un chilogramma d'acqua, quello di chilogrammi M sarà di calorìe $M\,(d-t)$. Ora essendo la perdita di calore fatta dal corpo immerso eguale all'acquisto subìto dall'acqua, si avrà l'equazione

$$xP\,(T-d) = M\,(d-t), \text{ da sui si ricava } x = \frac{M(d-t)}{P(T-d)}.$$

In questa formola però debbonsi fare delle correzioni. L'acqua è contenuta in un recipiente, il quale trovasi al medesimo grado di calore dell'acqua prima e dopo la miscela, cosicchè esso recipiente subisce un aumento di temperatura espresso da $(d-t)$. Non è adunque vero che il calorico perduto dal corpo immerso sia tutto acquistato dall'acqua, ma una parte ne è assorbita dal recipiente. Se chiamisi p il peso del vaso, c il calore specifico noto della materia, di cui è formato, la quantità di calore acquistato dal recipiente sarà espresso da $pc\,(d-t)$. Ora diremo che il calorico perduto dalla sostanza immersa è eguale a quello acquistato dall'acqua e dal vaso; sarà cioè

$$xP\,(T-d) = M\,(d-t) + pc\,(d-t), \text{ e quindi } x = \frac{(M+pc)\,(d-t)}{P\,(T-d)}.$$

Siccome nella ricerca del calorico specifico richiedesi somma esattezza, non dobbiamo contentarci della fatta correzione; ma dobbiamo tener conto della piccola quantità di calorico assorbita dal

termometro, il quale trovandosi costantemente immerso nell'acqua, ha aumentata la sua temperatura di gradi $(d-t)$. Indicando con p' il peso del mercurio del termometro, con c' il suo calorico specifico noto, con p'', c'' il peso e calorico specifico noto del vetro, di cui è formato il tubo termometrico, tutto il calore assorbito dal termometro sarà indicato da $p'c'(d-t)+p''c''(d-t)$. Aggiunta questa quantità al secondo membro della precedente equazione si avrà

$$xP(T-d)=M(d-t)+pc(d-t)+p'c'(d-t)+p''c''(d-t),$$

e quindi

$$x=\frac{(M+pc+p'c'+p''c'')(d-t)}{P(T-d)}.$$

È bene qui di notare che il prodotto del peso d'un corpo per il suo calorico specifico si suol chiamare *valore in acqua* del corpo stesso, perchè per scaldare una quantità d'acqua, il cui peso sia eguale al detto prodotto pc, dalla temperatura t alla d, si richiede un numero di calorìe indicato da $pc(d-t)$, cioè quante ne sono precisamente necessarie per produrre il medesimo riscaldamento nella massa p della sostanza il cui calore specifico è c.

606. Apparato di Regnault. — Nell'accingerci col metodo ora esposto a determinare il calorico specifico d'un corpo solido incontriamo subito delle difficoltà. Vaglia il vero, come potremo portare il solido ad una temperatura ben determinata? Come potremo esser certi che tutte le parti di esso hanno preso un egual grado di calore? Regnault ha dileguato tutte queste difficoltà, immaginando un bene adatto apparato (fig. 312). Una stufa d'ottone F è formata da tre cilindri concentrici. Nel tubo centrale si colloca, come diremo, il corpo che si vuole riscaldare; nello spazio anulare, che passa tra esso cilindro centrale ed il medio, si fa giungere una rapida corrente di vapore data da un lambicco, e che entrando per la tubolatura *a*, poi esce per il tubo *f*, e si disperde nell'atmosfera. Infine l'altro spazio anulare, che passa tra i cilindri medio ed esterno, è pieno d'aria, la quale colla sua coibenza impedisce il raffreddamento del vapore. Il tubo centrale può esser chiuso in alto da un coperchio metallico a doppie pareti attraversato da un termometro, che nota la temperatura dello spazio centrale. Quest'ultimo cilindro nell'altro estremo può chiudersi ed aprirsi per mezzo d'una specie di cassetto a doppia parete. La descritta stufa è posta sopra ad un vaso *mn* fatto a foggia di scranna, che ha una parte orizzontale *m*, ed un'altra verticale *n*, e che è pieno di acqua fredda. Tale vaso limita lo spazio P, e lo pone in riparo contro il raggiamento calorifico del lambicco e della stufa: è poi la sua parte orizzontale perforata al disotto del tubo centrale della stufa. Per riscaldare il corpo, si riduce in piccoli frantumi, si pesa, e quindi si pone entro ad un piccolo e leggerissimo cestello fatto a rete con filo d'ottone, e che deve essere di peso noto. Si sospende il detto cestello mediante un filo circa al mezzo della parte centrale della stufa, e si fa in modo che il termometro col suo serbatoio penetri in esso. Il vapore riscalderà progressivamente la stufa ed il corpo, che questa contiene, e dopo un certo

tempo il termometro indicherà una temperatura costante, che sarà quella del corpo assoggettato all'esperimento. Il vaso che contiene l'acqua, in cui deve immergersi il corpo riscaldato, è formato con una lamina sottile d'ottone, ed è sostenuto da fili di seta incrociati e fissati presso al fondo d'un recipiente più grande C. In tal modo s'evita l'azione raffreddante della corrente d'aria, e per quanto è possibile s'impedisce la perdita di calore, che avrebbe luogo attraverso del sostegno del vaso. È poi questo portato da una specie di piccola carretta, che può scorrere in una guida fissata alla tavola, che sostiene tutto l'apparato. Si pesa il vaso che deve contenere la miscela, e vi si versa acqua, la quale pure si pesa: un termometro è immerso in questa, e ne indica la temperatura. Fatto tutto ciò, e quando il corpo abbia presa la temperatura costante, si solleva il diaframma E di legno, che separa il vaso C dallo spazio situato sotto la stufa, si fa scorrere il carretto sotto al cilindro F, si tira in fuori il cassetto, e si fa cadere il cestino entro al vaso C. Si tira di poi indietro il carretto, e dopo di aver bene agitata la miscela, si nota con cura la temperatura massima di questa. Tutti questi movimenti riescono di somma speditezza.

In tal modo divengono note tutte le quantità della precedente equazione, ma dobbiamo introdurre in questa un'altra modificazione. Il calorico somministrato all'acqua non tutto proviene dal corpo sperimentato, ma ancora dal cestino; quindi dobbiamo aggiungere al primo membro dell'equazione del paragrafo precedente questa quantità di calorico dal cestello somministrata. Se chiamiamo con π il peso di esso cestino e con c il peso specifico dell'ottone, di cui pure è formato, come dicemmo, il recipiente contenuto in C, il calorico perduto dal cestino sarà espresso da $\pi c(\mathrm{T}-d)$, e l'equazione verrà ad essere

$$x\mathrm{P}\ (\mathrm{T}-d)+\pi c\ (\mathrm{T}-d)=(\mathrm{M}+pc+p'c'+p''c'')\ (d-t).$$

da cui si deduce $x=\dfrac{(\mathrm{M}+pc+p'c'+p''c'')\ (d-t)-\pi c\ (\mathrm{T}-d)}{\mathrm{P}\ (\mathrm{T}-d)}$.

607. Influenza del mezzo ambiente. — Per ottenere una estrema esattezza si richiederebbe un'altra correzione. Se noi supponiamo che, come ordinariamente suole avvenire, l'acqua sul principio abbia una medesima temperatura dell'aria ambiente, ne verrà, che quando il corpo riscaldato s'immerge nell'acqua, e questa aumenta di temperatura, una parte del calorico da essa acquistato, le sarà tolto dall'aria ambiente, poichè il calore tende a mettersi in equilibrio. Per togliere questa causa d'errore Rumford ha avuta l'idea di stabilire una compensazione nel modo seguente. Con un esperimento preventivo si determina quale sia presso a poco l'aumento di temperatura che subisce l'acqua: supponiamo che tale aumento sia di 4°. Si fa di poi in modo che l'acqua del vaso al principio dell'esperimento abbia una temperatura inferiore a quella dell'atmosfera per un numero di gradi eguale alla metà dell'aumento che andrà a prendere, ossia di due gradi nella fatta supposizione. In tal caso finchè l'acqua acquista i primi due gradi, trovandosi più fredda dell'aria, riceve calore da questa, e mentre

si riscalda per gli altri due, essendo di temperatura più elevata dell'aria, dà a questa calorico. Si noti però, che il compenso non è perfetto e rigoroso; poichè per l'esatto compenso sarebbe necessario, che l'acqua impiegasse egual tempo a riscaldarsi per i primi due gradi, e per i due secondi. Ma la cosa non va così, imperocchè il tempo impiegato da un corpo a riscaldarsi è nella ragione inversa della differenza delle temperature del corpo che acquista e del corpo che perde calore; ond'è che minor tempo impiega l'acqua a prendere i primi due gradi, maggiore nell'acquistare i due secondi. Si verifica adunque una piccola perdita di calorico fatta dall'acqua, la qual perdita si suole trascurare.

608. Determinazione del calorico specifico dei liquidi. — Allorchè si voglia determinare il calorico specifico dei corpi solidi solubili nell'acqua, e che nello sciogliersi possono od assorbire o produrre calore (528), o pure allorquando si tratti di conoscere il calorico specifico d'un liquido, le dette sostanze debbono chiudersi in tubi di vetro sottile, il cui peso e capacità calorifica siano noti: questi tubi si pongono nel cestino, e si opera come sopra; ma nella solita formola deve aggiungersi l'espressione della quantità di calore, che il recipiente di vetro somministra all'acqua.

609. Determinazione del calorico specifico dei gas. — Con il metodo dei miscugli si può determinare il calorico specifico dei gas, usando d'un apparato detto *calorimetro di Rumford* (fig. 313). È questo formato di un vaso metallico AB, nella parte inferiore del quale entra un serpentino di sottilissima lamina di metallo a molte spire, che va poi ad escire dalla parte superiore del medesimo, e nel punto di escita s'imbatte in un termometro C. Un altro termometro O trovasi immerso nell'acqua fredda, di cui è pieno il vaso AB. L'estremo esterno inferiore del serpentino è circondato da un recipiente D, in cui si contiene acqua bollente. Il gas da sperimentarsi noto in volume ed in peso s'introduce nella bocca inferiore del serpentino, e nell'attraversare il vaso D prende la temperatura dell'acqua bollente: percorrendo il serpentino, cede calorico all'acqua, ed esce per C. Mentre il termometro O denota l'aumento di temperatura dell'acqua, il termometro C mostra quella finale del gas; onde possiamo conoscere di quanto il gas si è raffreddato. Avremo in tal modo rese note le quantità T, t, d, P, M della formola precedente, con cui si calcolerà il calorico specifico x del gas, prendendo anche a calcolo il calore acquistato dal serpentino e dal termometro O. Si baderà pure, che la temperatura dell'acqua sia tale, che prima della sperienza sia di tanti gradi inferiore a quella dell'aria ambiente, di quanti ne sarà superiore dopo il riscaldamento (607).

Nel modo esposto si determina il calorico specifico del gas a *pressione costante*, vale a dire del gas, che riscaldandosi si dilata. Che se si volesse il calorico specifico del medesimo gas a *volume costante*, cioè del gas, che essendo chiuso in uno spazio, non può dilatarsi, dovrebbe esso porsi in un tubo tutto chiuso, metter questo nel cestello dell'apparato di Regnault, ed agire come se si trattasse di un liquido. L'esperienza ha mostrato, che questo secondo calorico specifico è più piccolo del primo. Ad esempio, il calorico

specifico dell'aria a volume costante è di calorìe 0,1686, mentre quello della medesima a pressione costante è di calorìe 0,2374. Da ciò che si dirà in altro luogo (629) si comprenderà la ragione di tale differenza.

610. Legge di Dulong e Petit. — Dulong e Petit hanno verificato, che il prodotto del calorico specifico d'un corpo semplice per il suo equivalente è un numero, che può dirsi costante. Eccone degli esempi:

Sostanze	Equivalenti	Calorici specifici	Prodotti
Solfo . . .	16	0, 2026 . . .	3, 24
Ferro . . .	27	0, 11379 . . .	3, 07
Rame . . .	32	0, 09515 . . .	3, 04
Mercurio . .	101	0, 03332 . . .	3, 36

Dall'eguaglianza dei detti prodotti discende, che i calorici specifici dei corpi semplici debbono essere fra loro nella ragione inversa dei numeri esprimenti i loro equivalenti, e che per ciò prese, non già masse eguali dei corpi semplici, ma quantità proporzionali ai loro equivalenti, queste richieggano quantità eguali di calore per aumentare d'un grado la loro temperatura.

611. Misura delle calorìe di fusione del ghiaccio. — Vedemmo (527) che quando un corpo si liquefà assorbe una quantità di calorico, che fassi latente. De-La-Provostaye e Desains hanno dato un metodo semplice e rigoroso per determinare le calorìe di fusione del ghiaccio. In un vaso identico al recipiente C dell'apparato di Regnault (606) si versa acqua riscaldata di 10^0 sopra alla temperatura atmosferica, la qual acqua esattamente si pesa. Si prendono poi dei pezzi di ghiaccio ben lavati con acqua e bene asciugati con carta da filtro, e quando questi non bagnano più la carta, si fanno cadere uno alla volta nell'acqua posta nel vaso. Il ghiaccio si fonde e raffredda l'acqua. Si seguita a gettare il ghiaccio nell'acqua, sinchè la temperatura di questa non divenga di 10^0 minore di quella dell'aria. Ciò ottenuto, si determina colla bilancia l'aumento di peso subìto dall'acqua, il quale aumento indica il peso del ghiaccio sciolto, e che noi indicheremo con P. Sia M il peso dell'acqua in principio posta nel vaso, t la sua temperatura prima dell'immersione del ghiaccio, d quella posteriore alla fusione, p il peso del vaso interno, e c il suo calorico specifico. Se con x indichiamo le calorìe assorbite nella fusione d'un chilogramma di ghiaccio, ognuno comprende, che essendosene fusi chilogrammi P, questi ne avranno fatte latenti calorìe $\mathrm{P}x$. L'acqua prodotta dalla fusione si è riscaldata da zero a gradi d, e per ciò ogni chilogramma avrà preso altre d calorìe, ed i P chilogrammi calorìe $\mathrm{P}d$. Dunque tutto il calore preso dal ghiaccio è indicato con $\mathrm{P}x+\mathrm{P}d$. Questo calore l'hanno perduto l'acqua collocata in principio nel vaso ed il vaso interno stesso, e siccome questi hanno subìto un raffreddamento di gradi $t-d$, la perdita sofferta dall'acqua sarà espressa da $\mathrm{M}(t-d)$, quella subìta dal vaso da $pc(t-d)$, e la perdita totale da $(\mathrm{M}+pc)(t-d)$. Si potrà dunque scrivere l'equazione $\mathrm{P}x+\mathrm{P}d=(\mathrm{M}+pc)(d-t)$, che ci dà $x=\frac{(\mathrm{M}+pc)\,(d-t)-\mathrm{P}d}{\mathrm{P}}$.

Con questa formola i suddetti fisici hanno trovato $x = 79,25$; hanno veduto cioè essere necessarie calorìe 79,25 per fondere un chilogramma di ghiaccio.

612. Applicazioni mediche. — Essendo tante le calorìe di fusione del ghiaccio, ne è venuto, che esso spessissimo si usi nelle cure mediche. Viene difatti il ghiaccio adoperato per mantenere per lungo tempo la pelle ad una temperatura prossima allo zero. A tal uopo il ghiaccio vien posto entro a vesciche ordinarie o di guttaperca, onde raccogliere l'acqua proveniente dalla fusione. Le dette vesciche poi si applicano sulla parte, che si vuole mantener fredda, la quale andrà di continuo a perdere calorico, che non aumenta la temperatura dell'acqua, ma si fa latente, fondendo il ghiaccio.

Si fa grand'uso di ghiaccio nell'estate per rinfrescare le bevande: raccomanda però l'igiene, che la temperatura di questa non si porti più bassa di 10°, e quindi può spesso ricorrere la soluzione del seguente problema. Si domanda : quanti chilogrammi di ghiaccio x debbonsi sciogliere in chilogrammi p d'acqua per portare questa dalla temperatura t alla temperatura 10°? Per la fusione del ghiaccio si dovranno far latenti colorìe $x \times 79,25$, e gli x chilogrammi d'acqua, che nascono dalla fusione, dovendosi elevare da zero a 10°, debbono prendere altre 10 x calorìe. Dunque tutto il calorico preso dal ghiaccio sarà $x \times 89,25$, le quali calorìe sono perdute dai chilogrammi p dell'acqua, che si vuole raffreddare per gradi $t - 10$, e che per ciò deve perdere calorìe $(t - 10)p$. Avrà quindi luogo l'equazione $x \times 89,25 = p(t - 10)$, da cui si deduce

$$x = \frac{p(t - 10)}{89,25}.$$

613. Metodo della fusione del ghiaccio per determinare il peso specifico dei corpi. — La fusione del ghiaccio è stata usata da Lavoisier e Laplace per determinare il peso specifico dei corpi, servendosi d'uno speciale calorimetro. Entro ad un recipiente cilindrico AA (fig. 314) trovasene un altro concentrico BB, il quale è unito al primo verso il fondo, dove ha un'apertura, in cui è adattato un tubo, che può essere aperto e chiuso a piacere mediante la chiavetta m. Un terzo recipiente C, le cui pareti sono formate da rete metallica, sta dentro al secondo. Lo spazio anulare AA posto tra l'esterno e medio cilindro si empie di neve, la quale fondendosi può escire per mezzo di un tubo laterale n munito di chiavetta, e questa neve serve ad impedire, che il calore atmosferico penetri nel vaso BB. In questo si pone pure del ghiaccio, e nel sacchetto metallico C si mette la sostanza, il cui calorico specifico si vuol misurare. Sia P il peso in chilogrammi di tale sostanza, x la sua capacità calorifica. Si porti esso corpo ad una determinata temperatura t, quindi si ponga nel sacchetto C, e chiuso l'apparato con un esatto coperchio sormontato da neve, si aspetti che la temperatura del corpo in C giunga a zero, fondendo quanto ghiaccio può. Allora girando la chiavetta m, si raccoglie l'acqua nata dalla fusione del ghiaccio. Essendo p il suo peso, diremo essersi fusi p chi-

logrammi di ghiaccio, e che per ciò si sono fatte latenti calorìe $p \times 79{,}25$. Queste calorìe sono state somministrate dal corpo posto in C, e dal metallo, di cui è formata l'insacca, e che supporremo di peso π e di calorico specifico noto c. Il calore perduto dal corpo assoggettato all'esperimento sarà espresso da $x\,\mathrm{P}\,t$, e quello ceduto dall'insacca da $\pi c t$, e per ciò si avrà $x\,\mathrm{P}\,t + \pi c t = p \times 79{,}25$ e quindi

$$x = \frac{p \times 79{,}25 - \pi c t}{\mathrm{P}t}.$$

Essendo assai difficile di raccogliere tutta l'acqua di fusione, l'esposto metodo non dà risultati del tutto esatti, e per ciò è da posporsi al metodo dei miscugli.

614. Misura delle calorìe di vaporizzazione dell'acqua. — Per misurare il calorico latente di vaporizzazione dell'acqua (541) si fa giungere in una nota quantità di questa un determinato peso di vapore acqueo, il quale, tornando ad esser liquido, deve emettere le calorìe di vaporizzazione (549), che faranno riscaldare l'acqua. A tale scopo si fa uso del seguente apparecchio. Si empia circa a metà con acqua una storta C (fig. 315), al cui collo inclinato è fissato per mezzo di un turacciolo un tubo più stretto g, che penetra nella stessa storta. Questo tubo col suo estremo esterno può essere unito ad un lungo serpentino metallico s R, il quale va a terminare in basso con un serbatoio R, e che comunica coll'esterno per mezzo di un tubo fornito di chiavetta z. Il serpentino ed il detto serbatoio sono collocati entro ad un calorimetro V fatto del medesimo metallo, che si empie d'acqua. Quando si vuol fare l'esperimento, si comincia dal far bollire l'acqua contenuta nella storta, e tenendosi questa separata dal serpentino, si fa disperdere il vapore nell'atmosfera. Il calorimetro V contiene una quantità di acqua di peso noto, ed un termometro immerso in questa ne fa conoscere il grado di calore, la qual temperatura è bene che sia di alcuni gradi, ad esempio di 10, sotto quella dell'atmosfera. Allorchè il vapore abbondantemente si diffonde nell'atmosfera, e dopo che siamo certi che le pareti della storta esposte all'aria si sono riscaldate, e che il tubo g è bene attorniato dal vapore, si congiunge la storta al serpentino, onde il vapore, che prosegue a sollevarsi, sia obbligato a passare per questo. In tal passaggio il vapore, raffreddandosi per il contatto col serpentino, torna allo stato liquido, e si va a raccogliere nel serbatoio R. Fatte per tal modo libere le calorìe di vaporizzazione, vanno queste a riscaldare l'acqua del calorimetro, che deve di continuo essere agitata, e quando la temperatura di essa acqua abbia oltrepassata quella dell'atmosfera di altrettanti gradi, di quanti prima ne era inferiore, si toglie l'acqua accumulata nel serbatoio R, e si pesa esattamente: un tal peso è quello del vapore, che è tornato allo stato di liquidità. Sia p il detto peso, ed x il calorico latente di vaporizzazione dell'acqua, P il peso del calorimetro vuoto compreso il serpentino, e c il calorico specifico noto del metallo, di cui sono formate queste due parti. In fine sia M il peso dell'acqua del calorimetro, t la sua temperatura iniziale, d la finale. È chiaro che il calorico perduto dal vapore è eguale a quello acqui-

stato dall'acqua e dal calorimetro. Ora il vapore ha perduto primieramente le calorìe di vaporizzazione che sono espresse da px, e secondariamente le calorìe che costituivano i gradi di temperatura, di cui si è raffreddato, cioè calorìe $p\,(100-d)$, cosicchè tutto il calore da esso perduto è $px+p\,(100-d)$. Il calórico poi acquistato dall'acqua sarà $M\,(d-t)$, e quello guadagnato dal calorimetro e dal serpentino sarà $Pc\,(d-t)$. Si avrà per conseguenza

$$px+p\,(100-d)=(M+Pc)\,(d-t),$$

e quindi $$x=\frac{(M+Pc)\,(d-t)-p\,(100-d)}{p}.$$

Si è supposto, che l'ebollizione avvenga a 100°, ma perchè ciò succeda è necessario, che la pressione sia di mm. 760 (437). Siccome però la storta è chiusa, può essere, che il vapore, il quale si solleva in principio, aumenti la pressione sul liquido; onde è necessario, che il recipiente C comunichi coll'aria atmosferica per mezzo di un tubo t munito di chiavetta. Che se vogliasi ottenere l'ebollizione ad un grado di calore maggiore o minore, si dovrà aumentare o diminuire la pressione sopra all'acqua, mettendo in comunicazione il detto tubo o con una macchina di compressione, o colla macchina pneumatica. Un manometro comunicante con C indicherà la pressione, e dopo ciò sarà facile conoscere la temperatura, in cui succede l'ebollizione (564), la quale temperatura si porrà nella formola invece di 100. Con il metodo ora esposto Despretz ha trovato, che le calorìe di vaporizzazione dell'acqua a 100° sono 540.

615. Calorìe di vaporizzazione dell' acqua a differenti temperature. — Regnault con un metodo consimile, ma usando maggiore esattezza, ha determinato il calorico latente di vaporizzazione dell'acqua a diverse temperature, ed ha trovato, che questo alla temperatura di 100° è di calorìe 537. Variando la temperatura dell'acqua da 0° a 230° col variare la pressione da mm. 4 ad atmosfere 27,5 (566), ha veduto, che i varii valori del calorico latente di vaporizzazione sono dati dalla seguente formola empirica $l=606{,}5+0{,}305\times t$, nella quale l indica il calore totale del vapore, cioè a dire la quantità di calorico, che deve somministrarsi ad un chilogramma di acqua a 0° per portarlo alla temperatura t d'ebollizione e per convertirlo in vapore. Perchè la cosa riesca chiara, applichiamo la formola a due casi particolari:

1° Quante calorìe ci vogliono per trasformare un chilogramma di acqua a 0° in un chilogramma di vapore a 35°? La precedente formola ci dà

$$x=606{,}5+0{,}305\times 35,\qquad x=617{,}2.$$

Ora se alle calorìe 617,2 togliamo quelle, che hanno riscaldato l'acqua da zero a 35°, ossia 35, avremo le calorìe di vaporizzazione che sono 582,2.

2° Quanto calore è necessario per trasformare un chilogramma d'acqua a zero gradi in un chilogramma di vapore a 160°? Colla

formola si trova richiedersi calorìe 655,3 e quindi le calorìe d'elasticità essere 495,3.

Da questi e da altri esempi si deduce, che le calorìe di vaporizzazione decrescono coll'elevarsi del punto di ebollizione.

616. Applicazione del vapore acqueo al riscaldamento dei bagni. — A rendere manifesto il vantaggio, che si ha nell'usare il vapore acqueo per riscaldare i bagni (549), si risolvano i due seguenti problemi.

1° Quant'acqua a 100° dovrà unirsi a 150 litri d'acqua per portare la temperatura di questa da 11° a 33°, che è la temperatura dei bagni? Siano x i litri dell'acqua a 100°, la quale deve versarsi nell'altra: essa si dovrà raffreddare da 100° a 33°, e perciò perderà calorìe x (100 — 33). I 150 litri d'acqua del bagno, dovendosi riscaldare da 11° a 33°, guadagneranno calorìe 150 (33 — 11). Ora la perdita dell'acqua bollente deve essere eguale all'acquisto di calore fatto dall'acqua fredda, per ciò sarà

$$x\,(100 - 33) = 150\,(33 - 11), \qquad x = 49{,}25 \text{ chilogrammi.}$$

2° Quanto vapore acqueo si richiede per produrre lo stesso effetto? Chiamando pure con x il peso in chilogrammi del vapore, rifletteremo, che liquefacendosi esso quando si mescola coll'acqua, darà fuori il calorico latente di vaporizzazione, il quale a 100° è di calorìe 537. Di più l'acqua nata dalla liquefazione del vapore si abbassa di temperatura da 100° a 33°, e per ciò perde calorìe x (100 — 33), cosicchè la perdita totale di calorico subìta dal vapore è espressa da $x \times 537 + x\,(100 - 33)$. D'altra parte il calore guadagnato dal bagno è come prima 150 (33 — 11); onde si avrà

$$x \times 537 + x\,(100 - 33) = 150\,(33 - 11), \qquad x = 5{,}46 \text{ chilogrammi.}$$

CAPO XI.

CALORICO PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE

617. *Misura del calorico prodotto dalla combustione* — 618. *Apparato di Favre e Silbermann* — 619. *Determinazione del calore di combustione dell'idrogeno* — 620. *Calore di combustione totale del carbonio* — 621. *Calorìe di combustione dei corpi composti* — 622. *Calorìe di combustione delle sostanze alimentari* — 623. *Costanza del calore di combustione dei corpi.*

617. Misura del calore prodotto dalla combustione. — Una delle più usate sorgenti calorifiche è la combustione; quindi è che i fisici si sono molto occupati intorno alla misura delle quantità di calorico prodotte dalla combustione delle varie sostanze. Lavoisier è stato il primo, che siasi dato a tali ricerche, ed i suoi studi sono stati proseguiti da Rumford, Despretz e Dulong. Il metodo

da questi usato consiste nel far bruciare il combustibile per mezzo d'una corrente d'ossigeno in una cassa metallica, e far passare i prodotti della combustione in un serpentino, essendo il tutto collocato in un calorimetro pieno d'acqua. L'aumento di temperatura di questa porge il modo di calcolare il calorico somministrato dalla combustione.

618. Apparato di Favre e Silbermann. — Favre e Silbermann hanno determinato con molta esattezza il calorico prodotto dalla combustione, usando d'un apparato costituito da tre recipienti posti l'uno dentro all'altro (fig. 316). Il più interno V è inargentato alla sua superficie esterna, il che, come vedremo in altro luogo (698), rende minimo il suo potere raggiante. Contiene questo circa due chilogrammi d'acqua, e porta un coperchio munito di fori, per i quali passano i tubi annessi all'apparato C, che dicesi *camera di combustione*, le verghe *a* d'un agitatore dell'acqua, ed il cannello d'un termometro *t*. Il detto recipiente V, che è il vero calorimetro, per mezzo di due pezzi di sovero tagliati ad ugnatura si posa sul fondo del secondo vaso V' più largo. L'intervallo che passa tra questi due recipienti è tutto occupato da pelle di cigno, la cui peluria è pessima conduttrice del calorico. Il vaso V' è in simil guisa collocato entro ad un terzo recipiente V'', il quale è pieno di acqua, la cui temperatura resta presso a poco costante, malgrado le piccole variazioni che può subire l'ambiente. La camera di combustione C è un vaso di rame a pareti sottili, che può fissarsi al coperchio del calorimetro, e che porta tre tubolature, una più larga M al centro, la quale può essere chiusa da un turacciolo di metallo, e le altre due laterali. Una di queste *z* serve a far giungere alla camera di combustione l'ossigeno, l'altra *s* può essere messa in comunicazione con un lungo serpentino *sr*, rappresentato a lato della figura, quando si debbono raccogliere i prodotti gasosi della combustione. Il turacciolo metallico M porta due altri tubi, dei quali l'uno è verticale e contiene una lente piana U composta d'un disco di quarzo, d'uno d'allume e di un disco di vetro, che formano un sistema tale da non far passare il calorico raggiante, ma bensì la luce (713). Al disopra dell'apertura esterna di questo tubo si trova un piccolo specchio inclinato *m*, per mezzo di cui si rende visibile l'interno del vaso C. Il secondo tubo *n* leggermente inclinato è destinato a far penetrare in C l'idrogeno, quando si voglia far bruciare questo gas.

619. Determinazione del calore di combustione dell'idrogeno. — Quando nella camera di combustione si voglia far bruciare l'idrogeno, non vi è bisogno del serpentino. Per mezzo del tubo *z* si fa giungere in C l'ossigeno ben secco, ed allorchè C è pieno di questo gas, s'infiamma l'idrogeno puro e secco ancor esso, e s'introduce nella camera da combustione per mezzo del tubo *n*. L'idrogeno in contatto dell'ossigeno brucia, e forma dell'acqua, che va al fondo della camera. Si misura con esattezza la temperatura dell'acqua del calorimetro, che si agita continuamente.

Siano M il peso dell'acqua del calorimetro, ed M' il *peso in acqua* (605) di tutti i pezzi metallici, che sono in contatto coll'acqua medesima. Rappresentiamo con *t* la temperatura primitiva dell'acqua

e dei suddetti pezzi metallici, e con d la temperatura finale. È fuor di dubbio, che il calorico assorbito dall'acqua e dai pezzi metallici sarà espresso da calorìe $(M + M')(d - t)$, le quali sono provenienti dalla combustione. Si pesi l'acqua generata dalla combustione dell'idrogeno, e sapendosi, che l'acqua è costituita da una parte in peso d'idrogeno e da 8 di ossigeno, se si divide per 9 l'ottenuto peso dell'acqua, si verrà a conoscere, che il quoto è il peso dell'idrogeno bruciato. Ond'è, che chiamando con p questo peso in grammi, e con x le calorìe prodotte dalla combustione d'un gramma d'idrogeno, tutto il calorico comunicato all'acqua ed al calorimetro sarà ancora indicato da px, e si avrà

$$px = (M+M')(d-t), \text{ e perciò } x = \frac{(M+M')(d-t)}{p}.$$

Con tal metodo Favre e Silbermann trovarono essere

$$x = \text{calorìe } 34,462.$$

620. Misura del calorico nato dalla combustione totale del carbonio. — Per avere il numero delle calorìe generate dalla combustione d'un gramma di carbone si pone nella camera di combustione una capsula di platino contenente un determinato peso di carbone puro, si fa cadere in esso un piccolo pezzo di carbone acceso, e quindi si fa giungere per la tubolatura z una corrente d'ossigeno, che fa bruciare il carbone. I gas provenienti dalla combustione attraversano il serpentino; i quali gas sono acido carbonico, ossido di carbonio, ed ossigeno in eccesso. Quando i gas si sono raffreddati, attraversando il lungo tubo del serpentino, è assolutamente necessario pesare l'acido carbonico, e l'ossido di carbonio che si sono formati, onde bene determinare la quantità di carbonio bruciato. A tale scopo si fa passare il gas che esce dal serpentino attraverso a tubi contenenti ossido di rame riscaldato fino al calor rosso, che brucia completamente l'ossido di carbonio, convertendolo in acido carbonico, il quale poi è trattenuto in una seconda serie di tubi pieni di potassa. Togliendo al peso dei tubi contenenti potassa dopo l'esperimento quello che avevano prima, la differenza indicherà il peso di tutto l'acido carbonico, che si è generato nella completa combustione del carbonio. Siccome si sa, che sei grammi di carbonio uniti chimicamente a sedici grammi d'ossigeno dànno 22 grammi di acido carbonico; sarà manifesto, che un gramma di acido carbonico contiene $\frac{6}{22}$ di gramma di carbonio; ond'è che, se il peso del gas acido carbonico prodotto si chiami Q, il peso del carbonio in esso contenuto, ossia del carbonio bruciato sarà grammi $Q \times \frac{6}{22}$.

Trovato così il peso P del carbonio bruciato, se si esprimono con x le calorìe somministrate da un gramma di detta sostanza perfettamente bruciato, cosicchè dia per prodotto solo acido carbonico, tutto il calorico somministrato in tal caso al calorimetro sarebbe espresso da Px. Questo sarebbe eguale alla quantità di calore acquistato dall'acqua del calorimetro e dalle parti metalliche, che sono

a contatto della medesima; il qual calorico, ritenendosi gli stessi simboli della precedente esperienza, sarà indicato da $(M+M')(d-t)$. Ciò però avrebbe luogo, quando la combustione fosse stata perfetta nella camera C, il che non è avvenuto, mentre si è prodotto ancora dell'ossido di carbonio, che nasce da una incompleta combustione, il quale ha terminato di bruciare fuori della camera C, ossia nei tubi contenenti l'ossido di rame. Si dovrà adunque fare Px eguale al calore acquistato dal calorimetro, ossia ad $(M+M')(d-t)$ più al calore, che l'ossido di carbonio avrebbe somministrato al calorimetro, se avesse bruciato nella camera C, convertendosi ivi in acido carbonico.

Vediamo quanto sia questo calorico. Si chiami p il peso dell'acido carbonico raccolto nella seconda serie dei tubi contenenti potassa. Si sa, che 22 parti in peso d'acido carbonico contengono 14 parti d'ossido di carbonio ed 8 d'ossigeno, e che quindi un gramma d'acido carbonico contiene $\frac{14}{22}$ di ossido di carbonio. Quest'ultima sostanza adunque prodotta dalla primiera combustione è espressa da grammi $\frac{14p}{22}$. Coll'istesso metodo con cui si è calcolato il calorico nato dalla combustione dell'idrogeno, si è misurato quello prodotto dalla combustione dell'ossido di carbonio, colla differenza, che invece di aver acqua per risultato si ha l'acido carbonico che va pesato. Si è veduto che per la combustione d'ogni gramma del detto ossido, si producono calorìe 2,403. Adunque il calorico che avrebbero dato al calorimetro i grammi p di ossido di carbonio, se avessero bruciato nella camera C, è espresso da $\frac{14}{22}p \times 2,403$. Potremo pertanto impiantare la seguente equazione:

$$Px = (M+M')(d-t) + p\frac{14}{22} \times 2,403;$$ da cui si ricava

$$x = \frac{(M+M')(d-t) + p\frac{14}{22} \times 2,403}{P}.$$

Favre e Silbermann hanno trovato $x = 8,080$ per la combustione del carbone di legno, e col metodo consimile hanno determinato il calore di combustione dello zolfo che è risultato di calorìe 2,2566.

621. Calorìe di combustione dei corpi composti. — Sarebbe ben cosa facile il determinare il calore di combustione di un corpo composto, se questo calore fosse eguale, come si è creduto per qualche tempo, alla somma delle calorìe nate dalla combustione degli elementi. L'esperienza però ha fatto conoscere che bruciando il corpo composto, le calorìe prodotte sono diverse da quelle corrispondenti alla somma delle calorìe che sarebbero generate dalla separata combustione dei singoli principii componenti. Per lo più il calorico prodotto dal bruciamento del corpo composto è minore della detta somma, ma qualche volta è maggiore, e la causa di ciò è che la combustione dei corpi composti è accompagnata da

fenomeni complessi, alcuni dei quali importano assorbimento di calore, mentre altri lo producono. Per lo più i primi superano i secondi.

622. Determinazione delle calorìe di combustione delle sostanze alimentari. — Frankland ha determinato il calore prodotto dalla combustione di molti alimenti, come ancora di molti prodotti di ossidazione rigettati dall'organismo, quali sarebbero l'urea e l'acido urico. Il processo impiegato consiste nel far bruciare una mescolanza del corpo, che si vuole sperimentare, e di clorato di potassa in un tubo metallico immerso nel calorimetro pieno d'acqua. Al calore così determinato bisogna sottrar quello che il clorato di potassa fa libero nel decomporsi, il qual calorico si determina una volta per sempre con esperimenti.

Nella tavola seguente sono notati alcuni risultati i quali sono molto importanti per la fisiologia. In questa tavola si suppone che il numero delle calorìe ivi registrate provengano dalla combustione di un gramma della relativa sostanza disseccata a 100°

Muscolo di bue lavato con etere	calorìe	5,703,	Acido ipourico	calorìe	5,383
Albumina purificata	»	4,998,	Acido urico .	»	2,615
Grasso di bue	»	9,096,	Urea. . . .	»	2,206
Zucchero bianco	»	3,348.			

623. Costanza del calore della combustione dei corpi. — Quando brucia un corpo, la quantità di calorico prodotto è la medesima, sia che il corpo bruci completamente, sia che passi per gradi intermediarii di ossidazione. Ad esempio, il carbone, tanto se si fa bruciare completamente, convertendolo in acido carbonico, quanto se si converta prima in ossido di carbonio, e poi in acido carbonico, produce in ambedue i casi un egual numero di calorìe. Dietro questa legge si può facilmente determinare il calorico che nasce nella conversione dell'albumina in urea. Si abbia un gramma di albumina pura la quale, bruciando completamente, dà acido carbonico, acqua ed azoto e produce calorìe 4,998. Questa combustione almeno in gran parte è incompleta nell'organismo animale, il quale dà fuori l'urea, che è un grado elevato, ma non completo d'ossidazione delle sostanze albuminoidi. Se si ammetta che l'albumina dia un terzo del suo peso d'urea, per un gramma d'albumina avremo un terzo di gramma d'urea, e siccome un gramma d'urea, bruciando, produce calorìe 2,206, il terzo di gramma d'urea espulso dall'organismo è ancora capace di dare calorìe $\frac{2{,}206}{3} = 0{,}7353$. Chiamisi ora q la quantità di calore fatta libera dal gramma di albumina, quando si è convertita in urea. La quantità totale del calore della combustione perfetta di un gramma di albumina sarà eguale a quello che sprigiona nel convertirsi in urea, più quello che nasce dalla combustione dell'urea formata, onde potremo scrivere

$$4{,}998 = q + 0{,}7353 \text{ e quindi } q = 4{,}2627.$$

CAPO XII.

TEORIA DINAMICA DEL CALORE

624. *Teoria dinamica* — 625. *Conversione del moto in calore — Esperimento di Rumford* — 626. *Esperimenti di Tyndall e di Foucault* — 627. *Conversione di calore in moto* — 628. *Equivalente meccanico del calore* — 629. *Metodo di Mayer per determinarlo* — 630. *Calore prodotto dall'arresto d'un corpo animato da velocità* — 631. *Ipotesi sulla causa del calore solare* — 632. *Ipotesi sull'origine del calore di combustione* — 633. *Applicazione della teoria dinamica alla spiegazione dei fatti principali relativi al cambiamento di stato d'aggregazione dei corpi.*

624. Teoria dinamica. — Dicesi *teoria dinamica del calorico* quella, che ammette, consistere il calorico in un moto, e che tutti i fenomeni calorifici riduce ad uno scambio di movimenti tra i corpi. La forza, ossia la causa che produce un moto, come saggiamente osserva il chmo Secchi, può essere uno spirito puro, come certamente lo è Iddio, da cui ogni forza e moto dimana; ma può esserlo ancora una massa materiale qualunque, purchè sia però animata da velocità, perchè allora la detta massa può comunicare ad altri corpi il suo moto, producendo un lavoro meccanico eguale a quello, che è stato speso per metterla in moto. Secondo ciò il moto della materia bruta, salvo l'intervento d'un ente spirituale, non ha origine che dal moto, il quale non si crea e non si distrugge, ma si modifica, si comunica e scambia tra i corpi. Vedremo da qui a poco, come il lavoro meccanico sia causa di calore, e viceversa il calorico sia causa di moto e di lavoro meccanico. Se adunque il calorico è una forza, cioè se produce un moto, deve conchiudersi, che esso consiste in un movimento; ed allorquando si vede che il calorico ha prodotto un lavoro, o viceversa, deve dirsi, che vi è stata una trasformazione, una comunicazione di moto. Ammettasi la teoria delle ondulazioni (492), e sarà facile il concepire la trasformazione del moto vibratorio termico in moto translatizio, e viceversa.

625. Conversione del moto in calore. — Esperimento di Rumford. — È cosa ben facile il dimostrare, che il lavoro meccanico si può convertire in calore. Difatti è ben noto, che battendosi un metallo con un martello, ambedue si scaldano, il che pure avviene relativamente alla sega ed al legno segato, alla lima ed all'oggetto limato ecc. È celebre il seguente esperimento di Rumford, il quale, posto un cilindro di bronzo entro ad un recipiente di legno pieno di acqua calda a 15°, lo faceva forare per mezzo d'un trapano mosso da due cavalli. L'acqua si scaldava a poco a poco, e dopo due ore e mezzo più di 10 chilogrammi d'acqua erano portati all'ebollizione. Rumford ne concludeva, che il calore qui prodotto per l'attrito era maggiore di quello, che è generato da nove candele di cera, che ardano unite. Berthollet a spiegare

il fenomeno asseriva, che il corpo, il quale subisce l'attrito, si addensa, e che per questo addensamento nasce un decremento nella sua capacità calorifica, onde avviene, che la quantità di calore contenuta nel corpo, quantunque non sia cambiata, pure deve innalzarne tanto più la temperatura, quanto più grande è il decremento del calorico specifico. Saviamente però Rumford faceva notare, che nel suo esperimento relativamente alla grande quantità di calorico sprigionato era ben piccola la massa del polviscolo metallico distaccato dal cilindro, il qual polviscolo non aveva sensibilmente aumentato di densità; talchè il calore prodotto e l'aumento di densità nel metallo non erano fra di loro in alcun modo proporzionali: per la qual cosa doveva arguirsi che il calore con tal mezzo ottenuto è proveniente da quella parte di lavoro meccanico, che si consuma nel distaccare le particelle metalliche, convertendosi in fremito molecolare, ossia in calore, della massa di metallo e dell'acqua. Ma a far conoscere l'errore di Berthollet avrebbe dovuto bastare il seguente esperimento di Davy. In un ambiente raffreddato sotto a zero si stropiccino fra loro due pezzi di ghiaccio, badando che sia impedita ogni trasmissione di calore esterno. Ben presto si vedranno fondere i due pezzi di ghiaccio alla loro superficie, la quale fusione sarà tanto più abbondante, quanto più celere sarà il movimento del mutuo strofinio. Ora l'acqua, passando dallo stato solido al liquido, anzi che diminuire di capacità per il calorico, ne acquista una maggiore, e per ciò a spiegare il calorico qui prodotto, e che ha servito a fondere il ghiaccio, non può farsi ricorso al cambiamento di capacità termica, ma deve dirsi esser tal calorico proveniente dal lavoro meccanico, che sembra distrutto dall'attrito, ma che invece si è cambiato in movimento vibratorio, ossia in calore.

626. Esperimenti di Tyndall e di Foucault. — Tyndall ha eseguite molte delicate esperienze, che dimostrano, come ad ogni azione meccanica distrutta corrisponda un aumento di temperatura. Si abbia un apparato termo-elettrico di Melloni (459): in un estremo della pila si faccia un leggero strofinio con un pennello a peli assai flessibili: basta ciò per avere uno spostamento nell'ago calamitato che viene a dar segno d'un aumento di temperatura nella parte stropicciata. Si prendano due bicchieri, i quali siano avvolti in più strati di flanella, perchè tenuti in mano non abbiano da questa a ricevere calorico. In uno di essi si ponga del mercurio, la cui temperatura si misura, immergendovi una faccia della pila, e si travasi dipoi il liquido più volte da un bicchiere all'altro, facendolo cadere da un'altezza tale da produrre un lavoro meccanico, che è distrutto, sviluppandosi in pari tempo calore. Difatti, se dopo il travasamento s'immerge nel mercurio una faccia della pila termo-elettrica, l'ago magnetico dimostrerà esservi aumento di temperatura. È molto noto quest'altro esperimento di Tyndall. Per mezzo di una ruota orizzontale munita di manovella e d'una fune senza fine s'imprime un moto assai rapido ad un'altra ruota più piccola e pure orizzontale. Quest'ultima porta un asse verticale, che è costituito da un recipiente cilindrico di rame di piccolo diametro. Si empia questo tubo di acqua, e si chiuda con

turacciolo. Mentre l'apparato è posto in movimento, si stringe il tubo con due pezzi di legno uniti a cerniera in un estremo, tenendo colla mano vicini fra loro gli altri estremi. Avrà luogo un grande attrito, che consuma una quantità di lavoro meccanico, ed in pari tempo si sviluppa calorico, che converte l'acqua in vapore riscaldato oltre a 100°, la cui pressione scaglia lontano il turacciolo.

È pure degno di menzione il seguente esperimento di Foucault. Una potente elettro-calamita di Sturgeon (407) è collocata orizzontalmente, e tra le due sue branche vi è un disco di ferro dolce, che può girare intorno ad un asse orizzontale. Per mezzo d'un sistema di ruote dentate e d'una manovella si può trasmettere al detto disco un rapido moto rotatorio, il quale non incontra alcun ostacolo allorchè la corrente elettrica non passa per la calamita. Ma quando la detta corrente ha luogo, le sbarre di ferro si calamitano ed esercitano un'attrazione sul disco, e con ciò diminuiscono ed anche annullano il moto di esso, quantunque si continui lo sforzo muscolare per imprimergli velocità. Il lavoro meccanico però, che in tal modo s'impedisce, viene a convertirsi in moto termico; onde il disco moltissimo si scalda.

627. Conversione del calore in moto. — Se si consideri, come hanno fatto Hirn e Regnault, la temperatura del vapore acqueo, allorquando penetra nel cilindro d'una macchina a vapore (570), e si misuri pure la temperatura del vapore stesso, quando dopo d'avere agito esce dalla macchina, ancorchè si tenga esatto conto del calore ceduto ai varii organi del macchinismo e di quello perduto per irraggiamento; si vedrà che vi è stata una perdita di calorico, il quale è sparito mentre il vapore attraversava l'apparecchio motore: e poichè la quantità di tal calore sparito è proporzionale al lavoro meccanico eseguito dalla macchina, dovrà conchiudersi, avere qui luogo una conversione di calore in lavoro meccanico.

628. Equivalente meccanico del calore. — Dicesi *equivalente meccanico del calore*, il lavoro meccanico che, convertito in calore, produce una calorìa; o ciò che è lo stesso il lavoro meccanico nato da una calorìa convertita in lavoro. Joule ha sperimentalmente determinata la quantità di lavoro, che deve spendersi per avere una calorìa. L'apparecchio da lui usato si compone (fig. 317) d'un calorimetro C pieno d'acqua e contenente un asse verticale munito di palette. Sul medesimo asse A, che sporge in parte dal vaso, sono ravvolti due cordoncini, i cui estremi, dopo essersi accollati a due carrucole fisse P, Q, reggono i pesi M, M', i quali cadendo fanno girare l'asse A, ed allora le palette battono l'acqua del calorimetro, e per la resistenza, che questa presenta al moto, parte del lavoro meccanico si converte in calore, che va a riscaldare l'acqua. Lo spazio percorso dai pesi M, M' è misurato dal regolo R. Si noti l'aumento di temperatura subìto dall'acqua, e per questo aumento si moltiplichi tanto il peso dell'acqua del calorimetro, quanto il valore in acqua (605) dei pezzi metallici ad essa vicini, e così si avrà il numero delle calorìe prodotte. Conoscendo poi la velocità che avrebbero i pesi M, M' alla fine della caduta, se questa fosse stata libera, e quella che vera-

mente hanno quando muovono l'apparecchio, si può computare la forza viva distrutta (55), causa del calore prodotto. Operando così, Joule ha trovato essere l'equivalente meccanico del calore 424 chilogrammetri; il che è quanto dire, che il lavoro meccanico necessario ad elevare un chilogramma a 424 metri, se si converte in calore, produce una calorìa. Il suddetto fisico ha ripetuto l'esperimento, sostituendo all'acqua olio di balena, mercurio, ed usando altri lavori meccanici, ed è sempre pervenuto al medesimo risultato.

629. Metodo di Mayer per determinare l'equivalente meccanico. — Si voglia risolvere il problema contrario al precedente, cioè vedere quanto lavoro meccanico sia generato da una calorìa. Questa via per determinare l'equivalente meccanico non è facile come la precedente, poichè non abbiamo una macchina tanto perfetta da convertire completamente in lavoro tutto il calorico impiegato a metterla in movimento, disperdendosi una parte di esso senza che possa con esattezza calcolarsi. Nondimeno il medico Mayer ha risoluto il problema, valendosi della differenza che passa tra il calore specifico dell'aria a volume costante, ed il calore specifico della medesima a volume variabile (609). Si supponga di avere un metro cubo d'aria a 0° e sotto la pressione di mm. 760 contenuta in un vaso a pareti non estensibili. Per elevare d'un grado la temperatura della detta aria si dovrà somministrarle una quantità di calore espressa dal suo peso, che è (523) chilogrammi 1,293, per il calorico specifico dell'aria a volume costante, che (609) vedemmo essere uguale a calorìe 0,1686; dovremo cioè somministrare alla suddetta aria calorìe 0,21799. Con tale aumento di temperatura avremo aumentata la forza elastica dell'aria, ma non avremo prodotto alcun lavoro meccanico, poichè il vaso è inestensibile. Si supponga in secondo luogo, che il metro cubo d'aria alla temperatura zero ed alla pressione 760 mm. sia contenuto in un vaso cilindrico, che abbia una parte mobile come la base d'uno stantuffo, il cui peso si consideri trascurabile, e s'immagini, che questo possa muoversi senza subire alcun attrito. Per riscaldare in tal caso l'aria d'un grado, le si dovrà somministrare un numero di calorìe espresso dal suo peso moltiplicato per il calorico specifico a volume variabile, che è eguale a calorìe 0,2374: tal numero di calorìe è 0,30696. Per questo aumento di temperatura l'aria aumenta di volume, e per ciò l'embolo si solleva: vediamo di quanto. Ricordiamoci che il coefficiente di dilatazione dell'aria è $0{,}00366 = \frac{1}{273}$ (519), il che è quanto dire, che per un grado di calore acquistato il volume d'un metro cubo d'aria diviene metri cubi $1 + \frac{1}{273}$. Si supponga che il cilindro abbia un metro quadrato di base, allora l'aria occuperà uno spazio, che ha un metro d'altezza. Riscaldata l'aria di un grado lo stantuffo si solleverà per $\frac{1}{273}$ di metro; ma lo stantuffo sopporta il peso dell'atmosfera, il quale in un metro quadrato di superficie è eguale a 10330 chi-

logrammi (168): dunque il lavoro meccanico effettuato per sollevare lo stantuffo, essendo dato dal peso sollevato per l'altezza, a cui è stato portato (43), verrà espresso da $10330 \times \frac{1}{273}$, ossia da chilogrammi 37,83. Siccome per riscaldare d'un grado il metro cubo d'aria, quando questo non fa lavoro meccanico, bastano, come abbiamo veduto, calorìe 0,21799, mentre nel nostro caso ce ne sono volute 0,30696, è chiaro, che l'eccesso di questa su quella quantità di calorìe, ossia 0,08897, si è consumato nel produrre il detto lavoro meccanico. Che se chilogrammetri 37,83 è il lavoro meccanico di calorìe 0,08897, dividendo quel numero per questo, si avrà il lavoro meccanico corrispondente ad una calorìa, sarà cioè $\frac{37,83}{0,08897} = 425$ chilogrammetri, numero pochissimo diverso da quello trovato da Joule.

630. Calore prodotto dall'arresto d'un corpo animato da velocità. — Allorquando un corpo animato da una velocità viene fermato, tutto il lavoro meccanico, che sembra distruggersi, si converte in calore. È per questo che una palla di piombo lanciata da un'arma da fuoco, se batte in una piastra di ferro, può scaldarsi fino al punto di fusione. Per calcolare quanto sia il calore prodotto dall'arresto d'un corpo, ci ricorderemo che un lavoro meccanico qualunque si può sempre esprimere colla forza viva (55) ossia col semiprodotto della massa per il quadrato della velocità, cioè con $\frac{mv^2}{2}$, o ciò che è lo stesso per $\frac{pv^2}{2g}$, essendo p il peso del corpo, e g l'accelerazione della gravità eguale a m. 9,8088. Ad esempio, si abbia una palla di piombo da cannone, che abbia un peso d'un chilogramma, e che si muova con una velocità di 500 metri al secondo, la sua forza viva, ossia il lavoro che è capace di produrre, si esprimerà con $\frac{1 \times 500^2}{2 \times 9,8088} = 12743$ chilogrammetri. Dividendo questo numero per l'equivalente meccanico 424, si verrà a conoscere, che il calorico, il quale si sprigionerebbe dall'arresto di essa palla, sarebbe di 30 calorìe. Se questa quantità di calore rimanesse tutta nella palla, di quanti gradi x aumenterebbe la sua temperatura? Si è detto più volte (605), il calorico acquistato da un corpo essere espresso dal prodotto del peso di questo per l'aumento di temperatura e per il calore specifico, il quale per il piombo è 0,0314: si avrà adunque $x \times 1 \times 0,0314 = 30$, da cui si ricava $x = 955^0$ temperatura molto superiore al punto di fusione del piombo. Se la terra improvvisamente si arrestasse, la sua temperatura si eleverebbe tanto, che non solo la terra si fonderebbe, ma quasi completamente si convertirebbe in vapore.

631. Ipotesi sulla causa del calore solare. — Dal calore prodotto dall'arresto di un corpo si vuole ripetere almeno in parte l'enorme quantità di calorico che continuamente è emanato dal sole. Stando ai calcoli approssimativi di Povillet, il sole emette per ogni decimetro quadrato della sua superficie e per ogni minuto primo di tempo 141,5 calorìe. Si potrà supporre che così sterminata quan-

tità di calorico possa esser prodotta da chimiche azioni che avvengano nel sole? No certamente. Invero, se ad esempio, si volesse supporlo nato da perfetta combustione di carbonio per opera dell'ossigeno, dovrebbe bruciare per ogni ora e per ogni metro quadrato della superficie solare circa chilogrammi 6300. Che se invece della combustione del carbonio si ammettesse quella di taluno dei metalli che trovansi nell'atmosfera solare, come sodio, magnesio, ferro, ce ne vorrebbero masse anche maggiori, cosicchè secondo i calcoli di Thomson, se tutta la massa solare fosse costituita da quel metallo, appena sarebbe sufficiente a somministrare per qualche migliaio d'anni quella copia di calore, che di continuo va emettendo. Di più, che immensa quantità di ossigeno sarebbe necessaria per alimentare tale combustione? Nè sarebbe più facile lo spiegare la produzione del calore solare, attribuendolo a correnti elettriche, poichè abbiamo veduto (384) che gli effetti della corrente elettrica, e quindi il calore prodotto da un apparato voltaico, sono eguali all'azione chimica, che genera la corrente medesima: ond'è che per produrre l'elettricità nel sole capace a somministrare il calore solare, si esigerebbe il consumo della medesima quantità di materia, che abbiamo detto abbisognare per l'immediata combustione. Mayer, Waterston e Thompson hanno pensato, che nel sole cada continuamente un immenso numero di asteroidi animati da enorme velocità, i quali cedano la loro forza viva al sole sotto forma di calore. Quest'ipotesi incontra minore difficoltà. Infatti, abbiamo veduto che un peso di un chilogramma, cadendo sulla terra dall'altezza di 424 metri, vale a produrre una caloria (628), fatta astrazione dalla resistenza dell'aria. Sarebbe poi maggiore il calore svolto, se il detto corpo per un'eguale altezza cadesse nel sole, poichè maggiore sarebbe la sua velocità, essendo l'attrazione solare 28 volte maggiore di quella esercitata dalla terra. Se pertanto un aerolito cadesse sul sole da un'altezza eguale a quella che passa tra esso e Mercurio, per produrre la quantità di calore che viene dal sole irradiato, basterebbe che avesse una massa di chilogrammi 13,3, e che ne cadesse per ogni metro quadrato uno per ora. La probabile esistenza intorno al sole di una fascia d'asteroidi analoghi a quelli, che ogni anno solcano la nostra atmosfera verso il 10 agosto, è in appoggio dell'esposta ipotesi.

Se non che tutto il calore solare non deve ripetersi dalla detta causa, e non si debbono totalmente escludere le azioni chimiche. Oltre di che il sole possiede una immensurabile quantità di calorico, che si suole chiamare d'*origine*. Veduta la superficie solare con un telescopio si osservano in esso delle macchie, che ora appariscono, ora variano di figura, ora spariscono, le quali macchie si sogliono considerare come cavità, che si aprono nella superficie solare, e per le quali si osserva l'interno dell'astro, che è privo di luce. Ma dall'essere la parte centrale oscura potrà dedursi che essa è solida e più fredda della parte esterna, ossia della fotosfera? Il chiarissimo Secchi risponde negativamente per la ragione che le fiamme che bruciano nelle fornaci, hanno alla loro base dei gas molto oscuri relativamente alle loro parti più esterne e luminose, i quali in molti casi sono più caldi di queste. La luce adunque non

fa fede della intensità calorifica, e per ciò può essere benissimo che il nocciolo oscuro del sole sia gasoso e sia più caldo della fotosfera. Moltissimi ammettono che la cosa sia veramente così. Abbracciando questi la teoria di Laplace, ritengono che una materia gasosa estremamente rada, dotata di un movimento rotatorio, e sotto il dominio delle due forze fondamentali della materia, l'attrazione e la ripulsione, debba essere stata un giorno tutto il nostro sistema planetario. La forza di ripulsione era il calorico, il quale per irradiazione andava decrescendo, onde la materia si condensava sempre più, ma rimaneva ancora dominata da un' altissima temperatura. Da questa massa girante e condensantesi per la forza centrifuga sonosi staccati a più riprese dei pezzi e scagliati via nello spazio; e questi sono la terra e gli altri pianeti che si aggirano intorno alla massa centrale, la quale è il sole. Queste varie parti della materia non si sono trovate tutte ad un medesimo tempo nel medesimo punto di raffreddamento e consistenza, e se l' involucro della nostra terra è già solido da molti secoli, non ne viene che lo debba essere anche il sole, il quale ancora si trova in uno stadio in cui precedentemente si sono trovati la terra e gli altri pianeti: esso è in uno stato di gas immensamente riscaldato. Se non che la temperatura della massa solare non può essere tutta eguale ed uniforme, perchè le parti esterne, raggiando calorico, ed impedendo il raggiamento delle parti interne, debbono trovarsi più raffreddate di queste. Ora il Thomson ha potuto calcolare che la temperatura della fotosfera non è che da 15 a 45 volte maggiore di quella che è generata nei focolari delle nostre locomotive; cosicchè la temperatura della fotosfera non supererebbe enormemente quella che noi sappiamo artificialmente produrre, e nella quale resistono senza decomporsi i corpi composti più stabili. La temperatura interna del sole essendo assai maggiore dell' esterna, deve essere di tale intensità da decomporre i corpi più refrattarii, e per la quale l'attività delle forze attrattive fisiche e chimiche è totalmente vinta. In altre parole la massa interna del sole trovasi nello stato di perfetta *dissociazione*. Da questa ineguale temperatura delle parti esterne ed interne del sole viene che le sostanze gasose che trovansi alla superficie solare sono ad un grado di calore che non vince ogni forza d'affinità per cui esse, obbedendo alla forza attrattiva, si combinano fra loro, e quindi divengono incandescenti. Questi corpi composti seguitano a raffreddarsi, e sempre più si condensano e quindi scendono verso il centro del sole, lasciano il posto ad altre materie più calde e per ciò più leggiere, le quali alla loro volta subiscono le stesse fasi. Ecco la causa delle correnti ascendenti e discendenti, che, squarciando la fotosfera, producono le macchie.

632. Ipotesi sull'origine del calore della combustione. — Dal calore prodotto per l'arresto dei corpi, che sono animati da velocità, molti fisici ripetono il calore generato dalla combustione: ammettono cioè che le molecole del corpo comburente spinte dall'affinità contro quelle del combustibile urtino contro di esse, ed il lavoro meccanico, che con ciò verrebbe ad annullarsi, si converta in modo termico. Si dovrebbe però osservare che il calore sviluppato nella combustione è tale da esigere la distruzione di un immenso

lavoro meccanico, onde si dovrebbe ammettere, che l'affinità, la quale solamente si esercita a distanze insensibili, e che quindi non può dar luogo ad un grande successivo aumento di velocità, sia pur valevole a produrre un lavoro meccanico enorme. Difatti, si è veduto (620), che un chilogramma di carbonio, bruciando completamente, produce 8080 calorie: poichè adunque sappiamo (628), che ogni calorìa ridotta in lavoro dà 424 chilogrammetri, tutte le suddette calorìe corrisponderebbero ad un lavoro di chilogrammetri 8080 $\times$ 424 $=$ 3425920. Se si ammettesse pertanto la detta ipotesi, si dovrebbe dire che tale sarebbe ancora il lavoro annullato nell' urto delle molecole del comburente con quelle del combustibile, e che per ciò la forza con cui si attirano è immensamente grande e sorpassa di molto in intensità la gravitazione universale e la gravità.

633. Applicazione della teoria dinamica alla spiegazione dei fatti principali relativi al cambiamento di stato d'aggregazione dei corpi. — Dicemmo che la teoria dinamica riduce i fenomeni termici ad uno scambio di movimento tra i corpi (624): diamone un saggio relativamente al cambiamento di stato d'aggregazione. Molti fisici moderni, come si è altrove accennato (7) ammettono, che le particelle dei corpi, le quali non possono nè fisicamente, nè chimicamente essere suddivise, non siano già atomi *primitivi*, ma *multipli*, non siano cioè le infime particelle, a cui può ridursi la materia, ma siano per se stesse, non già da noi, divisibili e riducibili ad atomi primitivi. Se gli atomi multipli d'un corpo semplice differiscono da quelli di un altro, non così deve dirsi degli atomi primitivi, che sono tutti eguali fra di loro, e costituiscono la così detta *materia caotica*, che secondo molti è l'etere. Un'unica materia adunque, secondo essi, ha creata Iddio, e questa materia fu dotata di moto, la cui produzione ha abbisognato d'una creazione, come una creazione è stata necessaria per la materia. Come poi la materia è indistruttibile, e noi solo possiamo comporla, decomporla e modificarla in mille guise; così è indistruttibile il moto, e solamente può essere trasformato, cambiandosi da traslatizio in vibratorio, o rotatorio, passando da un corpo ad un altro, suddividendosi e diffondendosi in guisa, da essere impossibile a noi rintracciarlo negli estremi confini dello spazio. Gli atomi primitivi, unendosi fra di loro, costituiscono gli atomi chimici, ossia gli atomi dei corpi semplici, e la diversità che passa fra questi deve ripetersi da due cause, cioè 1ª dal vario numero degli atomi primitivi, che insieme si uniscono per formare l'atomo multiplo, 2ª dal vario moto degli atomi primitivi. Si ritiene difatti, che gli atomi primitivi costituenti un atomo chimico non siano aderenti fra loro ma si muovano gli uni intorno agli altri con ordine ammirabile, che rassomiglia a quello del moto dei pianeti intorno all'astro maggiore; onde si suol dire il *micromo* esser simile al *macromo*. Nemmeno gli atomi chimici e le molecole si trovano in quiete, ed il loro moto non è disturbato da quello degli atomi semplici, come il moto della terra non è disturbato da quello degli esseri, che albergano in essa. Tal moto delle molecole dei corpi non è eguale nei tre stati d'aggregazione. Nel corpo solido le molecole si muovono, ma il loro moto consiste in semplici oscilla-

zioni senza alcuna traslazione in orbite, perchè ogni rimescolamento della massa è impedito. Le molecole d'un liquido si muovono in orbite rientranti, che sono ristrette entro alla cinta delle molecole vicine. Finalmente le molecole dei gas si muovono liberamente, seguendo una linea poligona, serpeggiante, indefinita, aggirantesi nella massa gasosa. Molti sono i fatti, che si sogliono addurre per provare questo moto intestino dei corpi, il quale sfugge ai nostri sensi per l'estrema sottigliezza delle molecole, che si muovono. L'evaporamento dei liquidi ed anche d'alcuni solidi, come la canfora, forma una di queste prove. Invero, il vapore a qualunque temperatura anche assai bassa si solleva dalla superficie del liquido, e vince la pressione atmosferica: questo moto non può esser nato dal nulla, ma bensì da un moto preesistente nella massa liquida. L'odore emanato da molte sostanze ed anche da alcuni metalli, ancorchè siano freddi, dimostra la loro volatilità, ed il moto delle particelle emanate dal corpo presuppone un moto nel corpo stesso, perchè il moto nasce solo dal moto. La pressione stessa che un liquido esercita contro le pareti del vaso, come osserva il chiarissimo Cantoni, rivela il moto intestino del liquido: imperocchè se si apre un foro nella parete premuta, il liquido ne sgorga. Se la pressione adunque genera il moto, si dovrà dire, che la pressione è pure un moto, perchè il moto nasce dal moto: nè si potrebbe asserire, che la pressione è un conato al moto, poichè tal conato non sarebbe moto. Questo semplice cenno di ciò, che esigerebbe un ampio sviluppo, ci basta per farci comprendere l'influenza, che ha il calorico sul cambiamento di stato d'aggregazione dei corpi.

Allorquando somministriamo calorico ad un solido, altro non facciamo, che aumentare il moto intestino delle sue molecole, le quali, effettuando oscillazioni più ampie, sono obbligate ad allontanarsi di più le une dalle altre, e per ciò deve crescere il volume del corpo. Questo spostamento delle molecole dove esige un lavoro meccanico maggiore, dove un minore secondo la diversità dei corpi; quindi è che dove più, dove meno il moto termico si converte in lavoro meccanico, e da qui nasce la diversità dei calori specifici dei corpi (603). Allorchè poi il solido si fonde, dicemmo (527), che una quantità ben grande di calorico si fa latente, quasi che vada ad annidarsi tra le molecole del liquido; ora invece diciamo, che nel passaggio d'un solido allo stato del liquido le molecole cambiano di moto, il quale dall'essere vibratorio passa ad essere in orbite chiuse, aumentando di ampiezza, e che quindi, aumentandosi assai il moto molecolare, una parte del moto termico in questo si trasmuta, e per ciò si rende insensibile al termometro. Dicasi lo stesso del calorico latente di vaporizzazione (541): il calorico cioè, che si rende insensibile al termometro quando un liquido si converte in gas, non è già che si nasconda tra le molecole del vapore, ma bensì si cambia in forza viva, dilatando il corpo ed aumentando il moto delle molecole, il quale non è più in orbite chiuse, ma in linee poligone indefinite. Che se un vapore viene a liquefarsi, si diminuisce il moto delle molecole, e poichè il moto mai si annulla, avrassi un eccesso di forza viva, la quale

cambiasi in moto termico; ed ecco ricomparire libere le calorìe di vaporizzazione (549). Parimente nel solidificarsi d'un liquido il moto molecolare deve diminuire, e dall'essere in orbite chiuse passa ad essere vibratorio, e si avrà per conseguenza una forza viva in eccesso, che si converte in calore e restituisce allo stato libero le calorìe di fusione (534).

CAPO XIII.

TEMPERATURA DEGLI ANIMALI

634. Calore animale. — Mentre tutti i corpi prendono la temperatura dell'ambiente, in cui si trovano, i corpi degli animali non obbediscono a questa legge d'equilibrio, ma hanno una temperatura propria, per lo più diversa da quella dell'aria che respirano. L'uomo, che abita nelle zone glaciali e nelle temperate conserva una temperatura superiore a quella dell'atmosfera, mentre l'abitante della zona torrida si mantiene a temperatura più fredda di quella della regione, in cui vive. Se adunque l'uomo esposto ad un basso grado di calore, pure si mantiene caldo come il solito, è necessario ammettere che esso abbia in sè una sorgente di calore, la quale ripara le perdite continue fatte per irraggiamento; e se non aumenta di calore quando è circondato da un'atmosfera di lui più calda, convien dire, che esistano cause di raffreddamento. Noi esporremo le cause del calore animale, e le cause di raffreddamento; ma prima ci conviene trattare nel presente capo della temperatura dei varii animali.

635. Apparati per misurare la temperatura degli animali superiori. — Per determinare la temperatura degli animali superiori e specialmente dell'uomo, s'impiega un termometro che nota solamente i gradi di calore compresi tra zero e 46, ottenendosi con ciò di dare tale ampiezza ai gradi da poterci leggere anche i loro quinti ed i decimi senza dare soverchia lunghezza al tubo. In questo termometro centigrado si determina direttamente lo zero coll'immergerlo nel gelo (500), e si fissano gli altri gradi confrontandolo con un buon termometro campione. È bene poi che il serbatoio sia piccolo, onde l'apparato sia sensibile e poco raffreddi la parte toccata. Nell'usare del termometro bisogna badare, che nessuna parte del serbatoio sia esposta all'aria durante l'osservazione. Presso l'uomo si suol porre il serbatoio nella bocca

sotto alla lingua, facendo respirare l'individuo per le narici, oppure si colloca sotto all'ascella, tenendo il braccio a contatto del busto. Che se si ha a determinare la temperatura della pelle, tanto il serbatoio, quanto il tubo si debbono tenere a contatto colla superficie cutanea, coprendo dall'altra parte il termometro con un'erta falda di ovatta, e fissandolo con una fascia, la quale, onde non abbia a rallentarsi la circolazione del sangue, non si deve molto stringere. Presso i bruti si suol prendere la temperatura, introducendo il termometro nell'intestino retto. Quando poi si voglia misurare il grado di calore delle parti profonde del corpo si deve fare uso degli aghi termo-elettrici (461), coi quali Becquerel ha rilevato che la temperatura del muscolo è superiore a quella del tessuto cellulare, da cui è circondato, il quale eccesso per il bicipide brachiale è di 1°,57.

636. Costanza della temperatura degli animali superiori. — Giovanni Davy nei suoi viaggi ha esaminata la temperatura degli uomini del suo equipaggio a diverse latitudini, come ancora quella degli abitanti delle varie zone, ed ha conosciuto che essa aumenta sì poco nei paesi caldi da essere questo aumento trascurabile, poichè non oltrepassa un grado. Da queste e da molte altre esperienze è risultato che la temperatura dell' uomo sano presa sotto all' ascelle è compresa tra 36°,5 e 37°,5. Nella febbre però e nelle infiammazioni il grado di calore del corpo umano si eleva fino a 39° e 40° e può qualche volta giungere fino a 42° (*) Al contrario in altre malattie vi è un abbassamento di temperatura, il quale nel periodo algido del colèra può essere di 5° o 6°. La temperatura degli uccelli presa nel retto varia secondo la specie da 40° ai 43°, e quella dei mammiferi, presa pure nel retto, varia secondo la specie dai 37° ai 40°, essendo tra questi i più caldi il porco ed il montone.

637. Distribuzione della temperatura nell'apparato circolatorio del sangue. — Con termometri sensibilissimi, coi quali misurare si possono fino i ventesimi di grado, Bernard e Walferdin hanno studiata la temperatura dell'apparecchio circolatorio, e dalle loro ricerche è risultata la legge, che in generale il sangue nelle vene è ad una temperatura minore di quella del sangue nelle arterie al medesimo livello, ossia in un medesimo piano. Ad esempio, il sangue delle vene iugulari è più freddo del sangue arterioso, che scorre per la carotide. Questa legge però ammette delle eccezioni; poichè il sangue della vena renale è più caldo di quello dell'arteria renale, e da ciò avviene, che il sangue, il quale ritorna dai reni,

(*) Ha dimostrato Cohnstein che il feto vivente nell'utero materno ha maggior calore della madre, cosicchè l' utero della donna gravida mostra una temperatura più elevata della normale. Si potrà quindi con un termometro introdotto nell'apertura interna dell'utero venire a conoscere lo stato di pregnanza, ovvero determinare se il feto sia vivo o da qualche tempo morto. Deve però notarsi, che anche l'utero non gravido è più caldo della vagina nella endometrite acuta, nell'acuta metrite, nella para- e perimetrite, nelle escoriazioni ed ulceri sulla superficie interna delle labbra della bocca uterina; non però nella fibroma dell'utero, negli infarti cronici, nell'ingrossamento del basso ventre per accumulo d'adipe, e nei tumori ovarici.

riscalda colla sua mescolanza quello che ritorna dai membri inferiori, e così nella vena cava ascendente, tra le vene renali e le vene sopraepatiche, la temperatura è più elevata di quello che lo sia nell'aorta compresa tra i medesimi limiti. Parimente il sangue delle vene sopraepatiche è più caldo di quello della vena aorta e dell'arteria epatica, ed il sangue che ritorna dal fegato, che è una sorgente di calore, aumenta l'eccesso di temperatura del sangue della vena cava sopra quella del sangue dell'aorta; di maniera che il luogo più caldo dell'organismo è il punto dove si riuniscono le vene sopraepatiche e la vena cava. Nella parte destra del cuore si riunisce e mescola il sangue che ritorna da tutte le parti del corpo, e la temperatura della vena cava inferiore si abbassa per la mescolanza del sangue più freddo della vena cava superiore.

Bernard è giunto a misurare anche la temperatura delle due cavità del cuore coll'introdurre successivamente un medesimo termometro nel ventricolo destro di un montone per la vena iugulare, e nel ventricolo sinistro per il tronco brachio-cefalico, ed ha trovato che il sangne del ventricolo sinistro è più freddo di quello del destro, variando la differenza da $\frac{1}{10}$ a $\frac{29}{100}$ di grado; dal che Bernard deduce che la circolazione del sangue nell'apparato polmonale è una causa di raffreddamento per il sangue stesso, e che la trasformazione del sangue venoso in arterioso coincide con un abbassamento di temperatura. Avverte poi che la suddetta delicata esperienza deve farsi con sollecitudine subito seguita la morte dell'animale, perchè ben presto, per la sottigliezza delle pareti del ventricolo destro, questo si raffredda più dell'altro, come può verificarsi col porre un cuore in un bagno caldo, tenendo un termometro in ciascun ventricolo. Estratto il cuore dall'acqua dopo che si è stabilita un'uniforme temperatura nelle due cavità, si vede che il termometro del ventricolo destro dà segni di abbassamento di temperatura maggiore dell'abbassamento che avviene nel sinistro. Si deve però avvertire che Colin ha qualche volta trovato il ventricolo destro più freddo del sinistro, provenendo ciò dalla varia temperatura che può prendere la corrente venosa secondo lo stato della pelle, dell'apparecchio digestivo e del sistema muscolare.

638. Temperatura degli animali detti a sangue freddo. — I rettili, i pesci e gli invertebrati vengono detti, ma non a ragione, come ora si vedrà, animali a *sangue freddo*. Per determinare la temperatura di questi, soprattutto se sono piccoli, è cosa utile usare aghi termo-elettrici a saldatura terminale (461), e si ottiene l'intento di conoscere la differenza che passa tra la temperatura di questi e quella del mezzo in cui si trovano, coll'introdurre un ago nel corpo dell'animale, tenendo l'altro nel mezzo, nel quale esso animale è collocato, sia acqua od aria. Dutruchet, esperimentando sugli insetti, si serviva (fig. 318) di un filo di rame incurvato r e saldato a ciascuna estremità s, s' con un filo di ferro f comunicante col galvanometro G. Configgeva una saldatura nel corpo di un animale vivente, e l'altra nel corpo di un altro recentemente ucciso, e così poteva determinare la temperatura proveniente dalla vita dell'insetto. Nel fare però tale esperimento bisogna usare di

una precauzione importantissima onde guardarsi dalle variazioni di temperatura del mezzo, e dalle cause di raffreddamento, di cui la principale è l'evaporamento che può aver luogo nella superficie dell'animale. Si raggiunge lo scopo, eseguendo l'esperimento in un sotterraneo, la cui temperatura sia invariabile, e ponendo l'animale sotto ad una campana ben bagnata d' acqua, cosicchè l'aria ivi contenuta sia satura di vapore. Così operando si trova che la temperatura degli animali detti a sangue freddo è costantemente superiore a quella del mezzo ambiente. Onde si conchiude, che animali a sangue freddo non esistono, ma tutti respirano, ed essendo la respirazione una sorgente di calore, come diremo in appresso, tutti hanno una temperatura propria.

CAPO XIV.

SORGENTI DEL CALORE ANIMALE

639. *Ricerche di Lavoisier sulla causa del calore animale* — 640. *Esperimenti di Dulong, Despretz, Regnault e Reisset* — 641. *Esperimenti di Andral e Gavarret* — 642. *Metodo indiretto* — 643. *Difetto degli esposti metodi* — 644. *Conversione del calore animale in forza muscolare* — 645. *Male delle montagne* — 646. *Produzione del calore nei muscoli* — 647. *Calore prodotto dalla circolazione del sangue* — 648. *Alimenti che servono alla combustione* — 649. *Sede della combustione respiratoria.*

639. Ricerche di Lavoisier. — Se, come abbiamo veduto (634), i corpi degli animali si possono mantenere ad un grado di calore costante e superiore a quello dell'ambiente, devesi ammettere una causa che in essi continuamente sviluppa calore. Occupiamoci di questa sorgente calorifica. Lavoisier prima d' ogni altro ha dimostrato che questa sorgente è la respirazione, la quale consiste in una lenta combustione di carbonio e d' idrogeno simile a quella che si opera in una lampada.

Che nella respirazione abbia luogo una combustione di carbonio si dimostra con questa esperienza. Si abbiano due bicchieri pieni di acqua di calce: nel primo di questi s'introducano con un soffietto delle bolle d'aria, mentre nell'altro si soffia con un tubo aria espirata. Si vedrà in quest' ultimo bicchiere formarsi rapidamente un abbondante cumulo di carbonato di calce assai prima che tale sostanza si formi nell'altro bicchiere per il passaggio dell'aria atmosferica, che solo contiene 4 o 5 diecimillesimi d'acido carbonico.

Lavoisier misurò il calorico che un animale collocato in ua calorimetro pieno di ghiacchio perdeva in un determinato tempo; raccolse e misurò il gas acido carbonico prodotto nel medesimo tempo da quello', e calcolò quante calorìe dovevano essere state generate dalla combustione del carbonio, la quale aveva dato ori-

gine alla detta quantità di gas acido carbonico. Dalle sue esperienze dedusse che il calorico prodotto dall'indicata combustione corrisponde a 96 centesimi di tutto il calorico che dall'animale era emesso. Si avvide poi che l'ossigeno consumato dall'animale non tutto era speso nella combustione del carbonio, ma questa combustione ne consumava solo $\frac{81}{100}$, e per ciò ammise che gli altri $\frac{19}{100}$ abbiano servito a bruciare l'idrogeno. Questo gran chimico, facendo respirare gli animali sotto ad una campana piena di mescolanze di gas formanti atmosfere artificiali, ne dedusse che nella respirazione non vi è nè assorbimento nè produzione di azoto; che la respirazione ha luogo nell'ossigeno puro, come nell'aria; che in un'atmosfera composta di ossigeno e d'idrogeno gli animali possono vivere lungo tempo, non soffrendo l'idrogeno alcuna diminuzione di volume.

Meritano ancora menzione i seguenti risultati dedotti dagli studii dello stesso Lavoisier e di Seguin sulla respirazione dell'uomo: 1° Quando diminuisce la temperatura atmosferica l'uomo consuma più ossigeno: 2° Assorbe e consuma più ossigeno l'uomo quando lavora, che quando sta fermo: 3° Consuma più ossigeno nell'atto della digestione che quando è digiuno.

640. Esperimenti di Dulong, Despretz, Regnault e Reisset. — Dulong e Despretz ripeterono gli esperimenti di Lavoisier con metodo quasi consimile. L'apparato usato da Dulong è il seguente (fig. 319). M è una cassa a pareti sottili di metallo posta dentro ad un calorimetro C pieno di acqua mossa di continuo da un agitatore, onde si stabilisca un' uniforme temperatura notata da alcuni termometri. Debbono esser noti il peso dell'acqua, il peso del metallo di cui sono formati i recipienti M, C, ed il calorico specifico di esso metallo, cosicchè questo possa essere valutato in acqua (605). La capacità M è posta in comunicazione con un gazometro G' pieno di aria, e per mezzo di un serpentino comunica ancora con un secondo gazometro G pieno d'acqua. Posto nella cassa M un animale, per mezzo di una corrente d'acqua si discaccia l'aria da G', e si obbliga a penetrare in M, onde servire alla respirazione dell'animale. Tale corrente aerea spinge via da M i gas prodotti dalla respirazione, i quali si vanno ad accogliere nella campana G, che si va di continuo elevando, discacciandone l'acqua. L'aria e i gas riscaldati per il contatto colla pelle e coi polmoni dell'animale, passando per il serpentino, cedono il calore acquistato all'acqua del calorimetro. Per ragione altrove esposta (607) si ha cura di raffreddare prima dell'esperimento l'acqua del calorimetro di qualche grado al disotto della temperatura atmosferica, e di arrestare l'esperienza allorquando la temperatura dell'acqua sorpassa di altrettanti gradi quella dell'ambiente. È chiaro come con questo apparecchio sia cosa facile misurare il volume dell'ossigeno consumato e quello del gas carbonico prodotto. Si trova che il primo supera sempre il secondo. Si sa che un volume di gas acido carbonico contiene un egual volume di ossigeno; ond'è che, se al volume totale dell'ossigeno assorbito si sottragga quello dell'acido carbonico prodotto, il residuo darà il volume di ossigeno che nella respirazione, combinandosi con un volume doppio di idrogeno, ha

prodotto l'acqua. Non resta altro che dal conosciuto volume dei gas dedurne il peso, cosa ben facile quando se ne conosca il peso specifico. Essendo pur note le calorìe di combustione del carbonio e dell'idrogeno (619-620), si saprà determinare la quantità di calorico prodotta dalla duplice combustione avvenuta nella respirazione. D'altra parte sapendosi il peso dell'acqua del calorimetro, il valore in acqua del metallo di cui è formato, e l'aumento di temperatura subìto, sarà noto il numero delle calorìe prodotte dall'animale, onde si potrà fare il confronto tra queste calorìe e quelle nate dalla combustione respiratoria.

Dulong ha trovato che per ogni 100 calorìe cedute dall'animale all'acqua ed al calorimetro, 75 sono prodotte dalla respirazione: invece secondo Despretz delle 100 calorìe cedute, 80 sarebbero nate dalla detta combustione. Si deve però avvertire che le calorìe di combustione accordate da Dulong e Despretz al carbonio ed all'idrogeno erano inferiori a quelle di poi ottenute da Favre e Silbermann. Gavarret avendo sostituito nei dati ottenuti dai suddetti due fisici questi più esatti nuovi valori, ha trovato che delle calorìe cedute dall'animale per ogni 100 la combustione respiratoria ne produrrebbe 90,6 secondo gli esperimenti di Dulong e 92,3 secondo quelli di Despretz.

Regnault e Reisset usarono maggiore esattezza nel determinare la quantità di ossigeno consumato e la quantità di acido carbonico esalato dall'animale durante un determinato tempo. L'apparecchio dai medesimi adoperato (fig. 320) consiste in una grande campana di vetro A, nella quale si introduce per la parte inferiore un animale, e quindi chiusane l'apertura, essa campana si colloca in un altro vaso di vetro pieno d'acqua. Si hanno più matracci, uno solo dei quali N vedesi in figura, pieni di ossigeno. Ciascuno di questi può comunicare colla parte superiore della campana A per mezzo di un tubo di gutta-perca v, e per mezzo di un tubo z con un serbatoio QF collocato in alto, contenente una soluzione satura di cloruro di calce, sostanza che assorbe pochissimo l'ossigeno. Il livello del liquido in questo serbatoio va mantenuto sempre costante, il che si ottiene col tenerci rovesciati i vasi o pieni del medesimo liquido, e le cui bocche combaciano colla detta superficie di livello. Per mandar l'ossigeno dentro alla campana si opera così: Si mette in comunicazione con questa uno dei vasi N, il quale si fa comunicare pure col recipiente QF: la soluzione di cloruro di calce entra nel matraccio N, e sollevandosi in questo, discaccia l'ossigeno che è costretto a penetrare in A. Quando siasi esaurito l'ossigeno del primo matraccio, si fa comunicare con A e con QF il secondo, e così di seguito. Si avrà in tal modo in A sempre del nuovo ossigeno in sostituzione di quello consumato dall'animale; ma si dovranno estrarre dalla detta campana i prodotti di combustione respiratoria, specialmente l'acido carbonico. Ecco come ciò si effettua. Il bilanciere xz oscilla continuamente intorno al punto O, essendo messo in moto da un peso unito ad un congegno di orologeria. Ai due estremi di esso bilanciere stanno appesi due recipienti C, C', che nei loro fondi sono in comunicazione tra loro per mezzo del tubo L di gutta-perca, e che comunicano pure con A nella loro parte superiore per mezzo dei tubi y, y'. I due recipienti

C, C' ed il tubo L contengono una soluzione di potassa che sappiamo avere la proprietà di appropriarsi l'acido carbonico. Allorchè s'inclina il bilanciere, il vaso C, che s'innalza, si vuota di liquido, perchè questo si deve mantenere in ambedue le parti ad una medesima altezza di livello, e ne nasce un vuoto, il quale è tosto occupato dall'aria della campana: quest'aria si spoglia dell'acido carbonico il quale è trattenuto dalla soluzione di potassa; ed allorquando il bilanciere riabbassa il detto recipiente C, ed il liquido torna a riempirlo, l'aria spogliata d'acido carbonico rientra nella campana. Egualmente opera l'altro recipiente C'. In tal modo continuamente nell'aria di A si rifonde l'ossigeno e si toglie il gas carbonico. Finita l'esperienza, analizzando la soluzione di potassa, si determina il volume dell'acido carbonico da essa assorbito. Essendo poi i matracci N graduati, si conosce il volume d'ossigeno introdotto in A. Si raccoglie una parte di aria rimasta nella campana; coll'analisi di essa si conosce la quantità di acido carbonico che ancora contiene, e che si aggiunge a quello assorbito dalla potassa. Se la detta aria contiene meno ossigeno di quello che conteneva al principio dell'esperienza, tale differenza si deve aggiungere all'ossigeno somministrato dai vasi N. Ecco alcuni risultati ottenuti da Regnault e Reisset: 1° Tutti gli animali senza eccezione assorbono ossigeno che si unisce agli elementi del sangue; ma la quantità assorbita varia secondo i diversi animali, e per un medesimo animale essa quantità cambia secondo le condizioni fisiologiche in cui quello si trova: 2° Tutti gli animali esalano acido carbonico, ed in generale la quantità di ossigeno che contiene questo gas è minore della quantità consumata, variando il rapporto tra l'ossigeno contenuto dal gas e quello assorbito secondo la specie dell'animale e secondo il nutrimento: 3° Nelle condizioni normali di sanità e di alimentazione gli animali superiori esalano azoto ma in piccolissima quantità: 4° I piccoli animali proporzionatamente al loro peso bruciano molto più carbonio e producono più calore degli animali grossi.

641. Esperimenti di Andral e Gavarret. — Gli esperimenti fin qui descritti furono eseguiti sui bruti, ma Andral e Gavarret hanno voluto misurare la quantità di acido carbonico esalato in un dato tempo dai polmoni umani, e ciò senza alterare in alcun modo i movimenti respiratorii. A tale scopo hanno usato di un apparecchio (fig. 321), che consiste in una maschera A di cuoio, i cui orli ricoperti di guttaperca si applicano esattamente sulla faccia. Due tubi C, B collocati lateralmente alla bocca fanno penetrare l'aria esterna, e due sfere di midolla di sambuco fanno in questi tubi da valvole per impedire che per essi escano i gas espirati. Dicontro alla bocca vi è un foro munito di un tubo *t* di guttaperca che comunica con tre grandi palloni di vetro D, il cui noto volume è di circa 140 litri. In questi sul principio dell'esperimento si fa il vuoto, essendo destinati ad accogliere i prodotti della combustione respiratoria. Si adàtta la maschera A sulla faccia di un uomo e si apre un robinetto graduato E: i gas espirati entrano nei palloni senza che possano più escirne. Dopo un tempo che può variare da otto a tredici minuti, si chiude il robinetto E, ed il

sistema dei palloni si mette in comunicazione colla parte superiore di un tubo barometrico, e si aspetta che i palloni ed i gas contenuti abbiano presa la temperatura dell'aria esterna, il che si conosce per mezzo di termometri collocati entro ai palloni fin dal principio dell'esperimento. La quantità di abbassamento del mercurio nel tubo barometrico denota la tensione p dei gas, di cui conosciamo la temperatura t ed il volume V. Ora si tratta di pesare l'acido carbonico raccolto. I palloni che contengono i gas espirati si fanno comunicare con tubi pieni di pomice imbevuta di acido solforico il quale toglierà il vapore acqueo al gas che passa per essi tubi, i quali sono seguiti da altri contenenti potassa, che come più volte abbiamo detto ha la proprietà di assorbire il gas acido carbonico. L'ultimo tubo è congiunto con un sistema di palloni egualissimi ai collettori. Si fa in quelli il vuoto, onde facciano l'officio di aspiratori, e quindi aprendo i robinetti, si fa passare attraverso della detta serie di tubi a poco a poco una parte dei gas raccolti, e quando l'aspirazione è cessata, si misura la tensione p' del gas che resta nei vasi collettori. Si comprende che la tensione del gas, il quale ha attraversato il sistema dei tubi è espressa da $p - p'$, mentre il volume è V, potendosi trascurare il volume dei tubi di comunicazione che rimangono pure pieni di gas. L'aumento di peso subìto dai tubi contenenti potassa dà il peso del gas acido carbonico assorbito, e che era contenuto da un volume d'aria espirata eguale a V e ad una pressione $p - p'$. Chiamando con q questo peso, troveremo il peso x del gas acido carbonico sotto la pressione p, ricordandoci che a temperatura ed a volumi eguali i pesi di un gas per la legge di Boyle e Mariotte (179) stanno fra loro come le pressioni. Avremo cioè $x : q = p : p - p'$, e quindi $x = q \times \frac{p}{p - p'}$.

Abbiamo già detto, che 22 parti in peso di acido carbonico ne contengono 6 di carbonio, ond'è che moltiplicando il peso $q \times \frac{p}{p - p'}$ per la frazione $\frac{6}{22}$, si otterrà il peso del carbonio bruciato nel tempo, che ha durato l'esperimento, e potrassi quindi calcolare il peso del carbonio bruciato in un'ora.

Ecco i risultati di tali esperimenti.

Sesso maschile.

1° Un fanciullo di 8 anni di buona costituzione, e di sistema muscolare mezzanamente sviluppato brucia 5 grammi di carbonio per ora.

2° Un giovane di 15 anni nelle medesime condizioni ne brucia grammi 8,7.

3° Nel momento della pubertà vi è un repentino aumento nella combustione respiratoria, cosicchè un giovane di 16 anni e mezzo brucia grammi 10,2 di carbonio all'ora. Dipoi il peso del carbonio bruciato cresce lentamente fino ai 30 anni col crescere dello svi-

luppo organico, in modo che un uomo di sana costituzione a 28 anni brucia in un'ora grammi 12,4 di carbonio.

4º Gli uomini di costituzione atletica ed a sistema muscolare sviluppatissimo offrono dei numeri più grandi, come apparisce dal seguente specchio:

Età	Peso di carbonio	Età	Peso di carbonio
12 anni	grammi 8,3,	63 anni	grammi 12,4
26 »	» 14,1,	92 »	» 8,8.
60 »	» 13,6.		

Tali numeri sono stati dedotti da esperienze eseguite su cinque individui, e da essi si rileva, che nel limite estremo della vita in un uomo a muscoli sviluppatissimi l'attività respiratoria è quasi così grande come in un uomo di mezzana costituzione nel fiore dell'età.

Sesso femminile.

5º Il carbonio consumato in un'ora da una donna è in quantità diversa secondo l'età come appresso:

Età	Peso del carbonio bruciato
Da 10 a 15 anni	grammi 6,4
Da 15 a 20 »	» 6,4
45 »	» 6,2
49 »	» 8,4

Si scorge che nelle donne l'attività della combustione respiratoria resta presso a poco costante da 10 a 45 anni, poi aumenta, e quindi a poco a poco diminuisce col progredire dell'età.

642. Metodo indiretto. — I metodi esposti fin qui direttamente determinano la quantità di carbonio bruciato nella respirazione: un metodo indiretto è stato ideato da Boussingault per calcolare le quantità di carbonio e di idrogeno consumati nella combustione respiratoria. Ecco in che consiste un tal metodo. Si assoggetta un animale ad un tale regime alimentare, che il suo peso resti invariato. È manifesto che esso animale nelle 24 ore, che dura l'esperimento, perde tanto, quanto prende nel medesimo tempo. Si dissecchi del medesimo alimento preso dall'animale un peso eguale a quello, che gli è somministrato. La diminuzione di peso esprimerà il peso dell'acqua naturale che era contenuta nell'alimento. Si dissecchino pure gli escrementi, pesandoli prima e dopo, e si ritroverà così la quantità d'acqua in essi contenuta. Sottraendo quest'ultimo dal primo peso, avrassi la quantità d'acqua esalata in natura. Con analisi elementare si determinino e si pesino gli elementi contenuti negli alimenti secchi, e lo stesso si faccia per le medesime sostanze, che ancora negli escrementi rimangono. Ognuno comprende, che l'eccesso del peso del carbonio, il quale si rinviene negli alimenti, sul peso di quello rimasto negli escrementi esprime il carbonio bruciato ed esalato dai polmoni e dalla pelle sotto forma d'acido carbonico; e che l'eccesso dell'idrogeno esistente negli alimenti su quello rimasto negli escrementi corri-

sponde al peso dell'idrogeno bruciato, e sotto forma d'acqua eliminato dall'animale; che finalmente l'eccesso di azoto è quello che è stato emesso allo stato di libertà.

Questo ingegnoso metodo è stato applicato da Barral all'uomo, ed ha verificato, che un uomo di 29 anni pesante chilogrammi 47,5, essendo la temperatura atmosferica di —0°,54 ha esalato per i polmoni e per la pelle in un'ora

gr. 13,988 carbonio + gr. 37,300 ossigeno = gr. 51,288 acido carbonico
gr. 0,866 idrogeno + gr. 6,929 ossigeno = gr. 7,795 acqua prodotta
gr. 0,596 azoto libero.
Peso totale dell'ossigeno preso all'atmosfera gr. 44,299.

Quando la temperatura dell'àtmosfera si trovava essere di 20°,8 il medesimo individuo ha dato in un'ora

gr. 10,095 carbonio + gr. 26,922 ossigeno = gr. 37,017 acido carbonico
gr. 0,607 idrogeno + gr. 4,860 ossigeno = gr. 5,467 acqua prodotta
gr. 0,421 azoto.
Peso totale dell'ossigeno preso all'atmosfera gr. 31,782.

Dal confronto di questi risultati si deduce, che la temperatura esterna esercita molta influenza sull'attività della combustione respiratoria, essendo questa più energica quando la temperatura esterna è più bassa.

Se si sottomette un medesimo individuo al metodo indiretto, e poi al metodo di Gavarret, e si raccoglie con questo l'acido carbonico esalato dai polmoni, si vede essere piccola la differenza dell'acido carbonico calcolato coi due sistemi; quindi si può conchiudere, ben piccola essere la quantità di questo gas esalato dalla cute.

643. Difetto degli esposti metodi. — Con qualunque degli esposti metodi si calcoli il numero delle calorìe prodotte dalla combustione respiratoria, si trova esser questo un poco minore di quello delle calorìe dall'animale perdute. Nondimeno si ritiene essere la respirazione l'unica sorgente del calore animale, nascendo la detta differenza dall'imperfezione dei metodi suddetti. Vaglia il vero, nel computare le calorìe generate dalla combustione del carbonio, si faceva la supposizione che la detta sostanza bruciasse completamente nell'organismo, mentre al contrario in questo si formano dei corpi, che sono prodotti d'ossidazioni incomplete, quali sono la creatina, la creatinina e specialmente l'urea. Se da tal supposizione ne nasceva un errore in più nel calcolare il calore generato; un altro errore più grave in meno proveniva 1° dal non considerarsi, che nelle combustioni organiche l'ossigeno agisce allo stato d'ozono, le cui combinazioni svolgono maggior quantità di calorìe: 2° dal supporsi, che il carbonio e l'idrogeno bruciando nell'organismo diano tante calorìe, quante ne producono allorchè ardono liberi ed isolati; ciò è falso, perchè nell'organismo esse sostanze sono combinate allo stato di principii immediati ternarii e quaternarii, e noi notammo (621), che gli elementi combinati non danno col bruciare il medesimo calore, che producono quando ardono allo stato libero. Insegna poi l'esperienza, che la quantità del calore sviluppato da un'azione chimica è tanto maggiore, quanto più intima si

fa la combinazione degli elementi e quanto è più semplice a confronto di quella, che fosse prima: ora gli elementi chimici nella materia organica sono aggregati in maniera assai debole, e molto complessa, mentre nei prodotti delle combustioni organiche si uniscono nelle più intime e semplici combinazioni, e perciò sviluppano più calorico, di quello che produrrebbero bruciando isolate.

644. Conversione del calore animale in forza muscolare. — Il calore, che si sprigiona nella combustione respiratoria, non solo è causa della temperatura dell'animale, ma ancora della forza muscolare: una parte cioè del detto calore riscalda i muscoli, e parte si converte in lavoro meccanico eseguito da essi (624). Ma se la cosa è così, perchè chi lavora, non ostante la conversione del calorico in forza, sente più caldo e suda? Si risponde, che la perdita di calore, che si trasmuta in lavoro, è esuberantemente compensata dall'acceleramento di respirazione e quindi di combustione (*). È ben decisivo l'esperimento di Hirn, col quale ha potuto verificare, che mentre un uomo in riposo per ogni grammo d'ossigeno consumato rende libere calorìe 5,5, allorchè lavora non ne produce, che 2,5. Pertanto siccome non può dirsi, che in parità di circostanze l'idrogeno ed il carbonio del sangue diano col bruciare ora più ora meno calore; devesi conchiudere, che le tre calorie, che non appariscono quando l'uomo fatica, si sono convertite in lavoro meccanico.

645. Il male delle montagne. — Allorchè salendo nelle grandi montagne, siasi superata una certa altezza, si sperimenta un complesso di disturbi fisiologici, i quali costituiscono il così detto *male delle montagne*. Ecco quali siano questi disturbi: 1° Respirazione affrettata, affannosa, penosa: 2° Acceleramento ed indebolimento di polso: 3° Palpitazione di cuore: 4° Soffocamento ed emorragie: 5° Gravezza di capo con sonnolenza qualche volta invincibile: 6° Prostrazione morale: 7° Sete ardente di bevande fredde: 8° Lingua arsa: 9° Inappetenza spinta tal volta fino alla nausea ed al vomito: 10° Dolori nelle ginocchia e negli arti inferiori: 11° Stanchezza e spossamento generale, che costringe ogni 15 o 16 passi a fermarsi, onde prender fiato, ed a sdraiarsi, poichè le braccia e le gambe, che sembrano di piombo, rifiutano il loro servizio.

A queste osservazioni fatte da Bravais e confermate da Tyndal si debbono aggiungere le seguenti verificate da Lortet in due ascensioni fatte appositamente sul Monte Bianco. 1° Elevandosi in alto si avvide Lortet, che il moto respiratorio si andava accelerando; 2° La quantità d'aria inspirata ed espirata in cima al monte era minore, che nelle stazioni più basse; 3° La durata dell'inspirazione era in paragone di quella dell'espirazione molto più piccola in cima

(*) Che sia più viva la combustione respiratoria in chi lavora risulta da molte esperienze, nelle quali si è raccolto l'acido carbonico espirato dall'uomo in un'ora in differenti condizioni. Ecco alcuni risultati:

Durante il sonno.	acido carbonico gr.	19,0
Stando seduto.	» »	29,0
Camminando	» »	70,5
Correndo	» »	100,6
Ascendendo con velocità . .	» »	189,6

al monte, che alle stazioni inferiori; 4° In cima al monte l'inspirazione energica sul principio cadeva tosto rapidamente; 5° Comprese Lortet, che essendo l'aria inspirata in poca quantità e molto diradata, la quantità d'ossigeno in ogni inspirazione posta a contatto del sangue doveva essere molto minore della consueta; 6° Osservò che la circolazione sanguigna andava assai accelerando, in guisa che il polso da 64 battute al minuto passava a darne 172; ma mentre aumentavasi il numero delle battute, il polso diveniva più debole; 7° Un'ultima importantissima osservazione di Lortet si è, che nel corpo in moto si verificava un abbassamento di temperatura progressivo e proporzionale all'altezza raggiunta, il quale abbassamento giungeva ad essere di 5°.

Che il male delle montagne non debba tutto attribuirsi alla diminuzione di pressione atmosferica (169) si prova da che gli areonauti, quantunque siansi elevati ad altezze maggiori, non hanno provati tutti questi disturbi, che essi stessi hanno sofferto nell'ascendere sugli alti monti. Ciò è stato più volte verificato da Flammarion. Vediamo quali siano le vere cause del male. Ricordar ci dobbiamo di ciò che poco fa si è detto, cioè che nel corpo umano in riposo la combustione interna mantiene costante la temperatura, quantunque oscilli quella dell'atmosfera, e che in conseguenza di moderati sforzi meccanici si accresce l'intensità della combustione respiratoria in modo da compensare esuberantemente la perdita proveniente dalla conversione del calore in lavoro meccanico. Ora si rifletta, che nell'ascendere sull'alte montagne l'uomo si deve arrampicare in un pendio assai erto, e che perciò effettua un lavoro così grande da non potere essere equilibrato dalla combustione respiratoria, la quale, anzichè aumentare proporzionatamente, si rallenta un poco a motivo che l'aria è troppo diradata. Si aggiunga a ciò, che la maggiore rapidità della circolazione sanguigna impedisce al sangue di ossigenarsi bastantemente nell'attraversare i polmoni, il che concorre a scemare la vivacità della combustione. Il calore pertanto da questo prodotto, convertendosi in gran parte in lavoro muscolare, non è più valevole a mantenere il corpo alla consueta temperatura; ond'è che questa va decrescendo a seconda del lavoro meccanico, che si eseguisce.

Che se la combustione respiratoria per le accennate ragioni non è così viva da equiparare le perdite di calore speso per il soverchio lavoro; pure a motivo dell'accelerazione del corso sanguigno è sempre maggiore dell'ordinaria, e per ciò è maggiore ancora la produzione del gas acido carbonico, del quale il sangue non si può del tutto sbarazzare nel suo passaggio per i polmoni a cagione della soverchia rapidità, con cui tal passaggio si effettua. Una parte adunque di questo gas passa col sangue nelle arterie, e da ciò si debbono gli altri disturbi ripetere.

646. Produzione del calore nei muscoli. — Vedremo da qui a poco (649), che la combustione respiratoria avviene in tutte le parti del corpo, ossia nel sistema capillare. Ora diciamo che, come, lavorando tutto il corpo, si aumenta tutta la combustione, il calore della quale in parte si converte in lavoro, e parte ne aumenta la temperatura; così nella contrazione d'un dato muscolo si ac-

cresce la combustione, che in esso ha luogo, e si aumenta la sua temperatura. Si avverta poi col Gavarret, che triplice può essere la contrazione d'un muscolo, cioè *contrazione statica*, *contrazione dinamica con lavoro positivo*, *contrazione dinamica con lavoro negativo*. Si ha la prima quando un muscolo contratto sostiene un dato peso ad una determinata altezza, nel qual caso il muscolo non effettua alcun lavoro meccanico, poichè non dassi lavoro senza moto (42). Si ha la seconda quando il muscolo, contraendosi, solleva un peso ad una determinata altezza. Che se un muscolo regge un peso, facendolo discendere in basso da una data altezza, esso effettua un lavoro negativo, il quale è del medesimo valore del lavoro positivo precedente, poichè il muscolo deve distruggere la forza viva, che il peso avrebbe acquistata, se fosse caduto liberamente da quell'altezza (55). In qualunque di questi casi si effettui la contrazione, essa è sempre accompagnata da un eguale aumento di combustione interna, e sempre si aumenta la temperatura del muscolo. Bèclard ed Heidenhain hanno osservato, che il detto accrescimento di temperatura è minimo nella contrazione muscolare col lavoro positivo, medio nella contrazione statica, massimo nella contrazione dinamica con lavoro negativo. La ragione, che Gavarret assegna a tal differenza di aumento di temperatura è la seguente. Nella contrazione statica tutto il calore proveniente dallo accrescimento di combustione va ad aumentare la temperatura del muscolo, perchè non si effettua alcun lavoro, che in parte consumi il calore suddetto. Al contrario quando un muscolo eseguisce un lavoro positivo, una parte di calorico si trasmuta in questo, e per ciò minore è la parte che va ad accrescere il calore del muscolo. In fine se il lavoro effettuato è negativo, il muscolo che si contrae non solo acquista il calorico generato dall'aumento di combustione, ma ne riceve ancora un'altra quantità, che procede dalla conversione in calore della forza viva, la quale si distrugge coll'impedire la libera caduta del corpo.

647. Calore prodotto dalla circolazione del sangue. — Abbiamo veduto (138), che il cuore effettua un grandissimo lavoro meccanico, il quale viene distrutto dalla resistenza, che il sangue incontra nel percorrere il sistema vascolare. Tale lavoro però veramente non si annulla, ma si converte in moto termico, producendo circa 100 calorìe in 24 ore. Dovrassi questo calorico tenere a conto nel determinarsi la sorgente del calore animale? No sicuramente; poichè il lavoro del cuore non nasce dal nulla, ma fassi a spese del calore animale stesso, cosicchè il lavoro del cuore tante calorìe produce, quante ne consuma.

648. Alimenti che servono alla combustione. — Si sono fatte in questi ultimi tempi molte ricerche per conoscere quali siano gli alimenti, che servono più specialmente allo sviluppo del calore e della forza meccanica. Gli alimenti altri sono quaternarii ed altri ternarii: i primi sono le sostanze azotate costituite da carbonio, ossigeno, idrogeno ed azoto, e tali sono l'albumina, la fibrina, la caseina, la gelatina, l'estratto di carne: i secondi sono gli alimenti non azotati, e possono essere di origine animale, come sono il grasso, il burro, lo zucchero di latte, il miele, o di origine vege-

tale, come l'amido o fecola, destrina, zucchero di canna e di uva, gomma, pettina, olio, ecc. Ciò notato, diciamo che Ficke e Wislicenus hanno fatto un esperimento, per il quale si è stabilito, che gli alimenti ternarii sono sufficienti alla produzione d'un considerevole lavoro meccanico. Questi due sperimentatori sono ascesi sul monte Faulhorn in Isvizzera, e moltiplicando il peso del loro corpo per l'altezza della montagna, hanno calcolato il lavoro effettuato in chilogrammetri, ed approssimativamente il lavoro interno eseguito dal cuore e dai muscoli della respirazione. Essendosi assoggettati ad un regime totalmente privo di azoto, hanno conosciuto che la quantità d'urea, la quale non poteva provenire che dagli alimenti azotati dei tessuti, è rimasta costante prima e dopo l'ascensione, e che il peso del muscolo consumato nel fornire la detta urea, non poteva dare bruciando una quantità di calore in alcun modo corrispondente al lavoro meccanico eseguito, il quale per conseguenza doveva attribuirsi in massima parte alla combustione degli alimenti ternarii.

649. Sede della combustione respiratoria. — La duplice combustione del carbonio e dell'idrogeno, di cui si è fin qui parlato, in qual parte dell'organismo animale avviene? Lavoisier credeva, che la combustione respiratoria avesse luogo nei polmoni, nei quali l'aria inspirata, secondo lui, convertiva il carbonio ed idrogeno in gas carbonico ed acqua, che ben tosto venivano espirati. Tale ipotesi ha ceduto il posto ad altra teoria data da Lagrange, il quale ha ammesso che la sede della combustione siano i capillari (127), avvenendo nei polmoni il solo scambio dell'ossigeno, che si assorbe, e del gas carbonico e vapore acqueo prodotti dalla combustione precedentemente effettuata nei capillari, i quali gas si emettono nell'espirazione. Tale teoria è provata dai seguenti fatti: 1° William Edwards, ripetendo un'esperienza già eseguita da Spallanzani, ha introdotta una rana in una campana piena di idrogeno capovolta sopra un bagno di mercurio, ma prima ha affondato l'animale in questo liquido, perchè la pressione esercitata dal metallo espellesse ogni gas dai polmoni. La rana posta nella campana eseguì per alcun tempo dei movimenti respiratorii, esalando un volume d'acido carbonico maggiore di quello del suo corpo; il qual gas non poteva dirsi generato nei polmoni, ma ivi trasportato dal sangue venoso. 2° L'esperimento di Bernard sulla temperatura dei due ventricoli (637) del cuore fornisce un'altra prova di questa verità. 3° Estratti i gas dal sangue della vena femorale e poi dal sangue dell'arteria femorale, si trova, che il sangue venoso è più ricco di gas acido carbonico e più povero d'ossigeno di quello che lo è il sangue arterioso; il che ci obbliga a conchiudere, che la combustione avviene nell'estensione dei capillari, che separano la vena dall'arteria.

CAPO XV.

DISSOLUZIONE DEI GAS NEI LIQUIDI

650. Coefficiente di solubilità. — Per poter intendere adequatamente come avvenga nei polmoni lo scambio dell'ossigeno dell'aria col gas carbonico prodotto dalla precedente combustione e di cui si dovrà parlare in appresso (670), è necessario premettere lo studio della dissoluzione dei gas nei liquidi.

I gas si sciolgono nei liquidi, penetrando in questi e nascondendosi, per così dire, negli spazi, che si rinvengono tra le molecole, senza combinarsi coi liquidi stessi, per il che non deve confondersi la semplice dissoluzione di un gas in un liquido colla chimica combinazione, che tra essi può succedere. Si chiama poi *coefficiente di solubilità* il numero, che esprime i volumi di un gas, che possono essere sciolti nell'unità di volume di un liquido. Dicendo, ad esempio, che il coefficiente di solubilità del gas ammoniaco nell'acqua alla temperatura zero è 500, si esprime che in un litro d'acqua alla detta temperatura si possono sciogliere 500 litri di quel gas. Alla temperatura zero, secondo Bunsen, il coefficiente di solubilità dell'ossigeno nell'acqua è 0,041; dell'azoto 0,020; dell'acido carbonico 1,797.

Il suddetto coefficiente decresce col crescer della temperatura, e generalmente parlando, diminuisce più rapidamente di quello che cresca il grado di calore e per la maggior parte dei gas diventa nullo ai 100°, cioè al punto d'ebollizione l'acqua non è più capace di sciogliere i gas. A 20° già i coefficienti sono divenuti per l'ossigeno 0,028, per l'azoto 0,014, per l'acido carbonico 0,901; ossia sono ridotti quasi alla metà di quello che erano a zero gradi.

651. Legge di Dalton. — Relativamente alla dissoluzione dei gas Dalton ha data una legge, la quale può enunciarsi così: « Il coefficiente di solubilità è costante, qualunque sia la pressione » od in altri termini: « Il volume d'un gas sciolto in un liquido è sempre lo stesso qualunque sia la pressione, che esso sul liquido esercita ». Ad esempio un litro d'acqua alla temperatura zero è capace di sciogliere litri 0,041 di ossigeno, il quale faccia una pressione sul liquido di 76 centimetri, ossia che abbia una pressione di un'atmosfera. Ora si supponga, che sia posta al disopra dell'acqua una quantità di ossigeno, che abbia la tensione di un solo centimetro: anche

in questo caso un litro d'acqua alla detta temperatura scioglie litri 0,041. Ma se il volume di ossigeno sciolto nei due casi è eguale, non è eguale il peso; dappoichè per la legge di Mariotte (179) la densità di un gas è nella ragion diretta del peso comprimente, e per ciò, avendo l'ossigeno una tensione di un solo centimetro, il peso di esso gas sciolto sarà 76 volte più piccolo di quello che avrebbe quando la pressione fosse di 76 centimetri. Egualmente se la pressione subìta dall'ossigeno fosse di 4 atmosfere, il volume sciolto in un litro d'acqua sarebbe pure di litri 0,041, ma il peso sarebbe 4 volte maggiore di quello che rimane sciolto sotto la tensione di un' atmosfera.

652. Problema relativo. — È cosa ben facile il risolvere il seguente problema: conoscendosi il coefficiente di solubilità s di un gas, e la pressione h che esercita sull'acqua, si vuole determinare il volume x, che il gas sciolto in un litro d'acqua prenderebbe quando la pressione fosse di un'atmosfera.

Siccome per la legge di Mariotte i volumi di un gas sono nella ragione inversa dei pesi comprimenti, i litri s alla pressione d'un solo centimetro addiverranno $s \times h$, e questi alla pressione di 76 centimetri passerebbero ad essere $x = \frac{s \times h}{76}$.

653. Legge della soluzione d'una mescolanza di gas. — In quanto alla soluzione in un liquido della mescolanza di due o più gas è da considerarsi la seguente importante legge: « Il liquido discioglie ciascuno dei gas, che formano la mescolanza, come se fosse solo e secondo la densità, che esso ha nella mescolanza ». Questa legge viene dilucidata e provata con un esempio, collo studiare cioè la soluzione dell'aria nell'acqua. Si sa che in 100 volumi d'aria ve ne sono 20,8 d'ossigeno, e 79,2 d'azoto, essendo i detti volumi misurati alla pressione di 76 centimetri. L'ossigeno però, il cui volume è 20,8 alla pressione di 76 centimetri, nell'aria, in cui i due gas sono perfettamente mescolati, è diffuso in tutti i cento volumi d'aria, ossia occupa un volume realmente eguale a 100, come se fosse assoggettato ad una pressione x minore. Colla legge di Mariotte possiamo determinare questa pressione x, scrivendo $20{,}8 : 100 = x : 76$, da cui si ricava $x =$ cent. 15,8.

Conosciamo adunque, che la tensione dell'ossigeno è di centimetri 15,8.

In egual modo trovandosi in 100 volumi d'aria tanto azoto, che alla pressione di 76 centimetri occuperebbe 79,2 volumi, ed occupandone invece 100, come se fosse premuto da un peso minore y; troveremo questa pressione y colla proporzione

$$79{,}2 : 100 = y : 76, \text{ che dà } y = \text{centimetri } 60{,}19.$$

Se ora nella formola $x = \frac{s \times h}{76}$ del numero precedente poniamo 0,041 invece di s e 15,8 invece di h, troveremo, che quando l'ossigeno abbia una tensione di centimetri 15,8, un litro d'acqua ne scioglierà un volume, che sottoposto alla pressione di un'atmosfera, verrebbe ad essere di litri 0,0085. Parimente ponendo nella detta

formola 0,020, coefficiente di solubilità dell'azoto, invece di s, e 60,19 invece di h, verremo a conoscere che un litro d'acqua scioglie un volume d'azoto, che alla pressione di 76 centimetri verrebbe ad essere di litri 0,0158.

Se adunque l'esposta legge fosse vera, un litro d'acqua a contatto dell'aria, essendo alla temperatura zero, dovrebbe assorbire una mescolanza d'ossigeno e d'azoto corrispondente a litri 0,0085+0,0158=0,0243.

Cioè per l'enunciata legge la mescolanza d'ossigeno e d'azoto sciolta nell'acqua a zero gradi deve essere tale, che in 243 volumi di detta mescolanza se ne debbano contenere 85 d'ossigeno. Per conseguenza chiamando con x i volumi di ossigeno contenuti in 100 della miscela si avrebbe $243:85=100:x$.

Da questa si ricava $x=35$ circa, e ne deduciamo, che in 100 volumi della mescolanza sciolta se ne trovano 35 d'ossigeno, e conseguentemente 65 d'azoto.

Se agitata l'acqua alla temperatura zero, si faccia in essa sciogliere quant'aria si può, e quindi coll'ebollizione (660) si discacci l'aria disciolta e si analizzi, si trova che realmente in 100 volumi della medesima se ne contengono 35 d'ossigeno e 65 d'azoto; il che dimostra vera l'esposta legge.

Abbiamo detto, che in 100 volumi d'aria sciolta nell'acqua si rinvengono 35 d'ossigeno e 65 d'azoto, mentre sappiamo che in 100 volumi d'aria atmosferica ne esistono 20,8 del primo, e 79,2 del secondo: da ciò si conchiude, che l'aria sciolta nell'acqua è assai più ricca d'ossigeno di quello che lo sia l'atmosferica, il che assai giova alla respirazione degli animali acquatici.

654. Determinazione dei coefficienti di solubilità. — Per determinare i coefficienti di solubilità dei gas Bunsen ha usato del seguente metodo. Si empie di mercurio una provetta, o corto tubo barometrico, graduata in parti di eguale capacità, e capovoltala, s'immerge l'estremità aperta in una vaschetta contenente pure mercurio, e si bada che dopo ciò la provetta resti tutta piena di detto metallo. Allora s'introduce nella sua sommità il gas, il cui coefficiente si vuole determinare, e se ne nota il volume, il quale viene indicato dalle divisioni della provetta lasciate libere dal mercurio. S'introduce ancora in appresso un dato volume di acqua privata preventivamente di gas coll'ebollizione. Dopo tutto ciò, collocata la provetta colla sua bocca chiusa in un recipiente cilindrico pieno d'acqua, perchè si conservi sempre ad una medesima temperatura notata da un termometro, si agita essa con violenza per facilitarne la soluzione del gas. Ci accorgeremo, che l'acqua è satura del gas, allorchè dopo varie agitazioni, aperta la provetta, non più ascende la colonna liquida. Allora misurato il volume del gas rimasto e la pressione che soffre, indicata dal peso dell'atmosfera diminuito del peso della colonna liquida, e riportato il detto volume alla primiera pressione (182), si sottrae dal volume del gas introdotto: la differenza farà conoscere il volume del gas assorbito dall'acqua, e quindi il suo coefficiente di solubilità. Con questo mezzo Bunsen ha potuto verificare la legge di Dalton, avendo sperimentato che realmente il volume di un gas sciolto da un mede-

simo volume di liquido a temperatura costante non varia, quantunque varii la pressione (651).

655. Ricerche di Fernet sui gas sciolti nel sangue. — Fernet ha studiato l'assorbimento dei gas, che trovansi nel sangue, e che è effettuato dai sali, che esistono in esso, dal siero e dal sangue stesso, ed ha ottenuto risultati assai importanti per la teoria della respirazione. Nelle dette ricerche egli ha usato del seguente apparecchio. (Fig. 322). Un cilindro di vetro V contenuto in un bagno di costante temperatura ha una ben nota capacità, e colla sua parte superiore *e* può mettersi in comunicazione o con una macchina pneumatica per mezzo del tubo M munito di chiavetta *f*, o con un gasometro contenente il gas puro e secco, che vuole sperimentarsi, per mezzo del tubo G fornito pure di robinetto *d*. Può pure il detto cilindro V comunicare mediante il tubo laterale *m* con un manometro ad aria libera L di forma eguale a quello usato da Regnault per misurare la dilatazione dei gas (519). Per usare dell'apparato si opera così: separato il cilindro V dal manometro L, chiusi i robinetti *r*, *d* ed aperto *f*, colla macchina pneumatica si fa il vuoto in V. Chiusa quindi la chiave *f* ed aperta la *d*, si fa entrare in V il gas. Allora si congiunge V col manometro, ed aperti i robinetti *r*, *r'* si fa che il gas eserciti la sua pressione sul mercurio, il quale prima empiva tutto il manometro, ma che in parte si è fatto escire per la chiave a tre tubolature R. Siccome la tensione del gas introdotto è per lo più minore d'un' atmosfera, la superficie del mercurio è più elevata in *a* che in *b*, ed è data dalla differenza tra la pressione atmosferica segnata da un barometro, e l'altezza della colonna di mercurio, che eccede in *a*. Deve pure misurarsi con esattezza il volume del gas introdotto. Dopo ciò immerso il tubo G in un vaso contenente il liquido, in cui si ha da sciogliere il gas, l' eccedente pressione atmosferica obbligherà una parte di esso liquido a penetrare in V. Si conoscerà il volume del liquido introdotto col misurare il volume del liquido rimasto, e sottrar questo dal volume primiero. Chiuse poi le chiavette *d*, *r*, *r'*, si distacca V dal manometro, e si agita per facilitare la soluzione del gas, quindi si ristabilisce la comunicazione con L, e questa operazione si ripete finchè il liquido non sia saturo di quel gas; il che si conosce dal vedersi, che la superficie del mercurio nel manometro non cambia più. Non rimane allora che misurare il volume del gas residuo e l'attuale tensione, la quale deve notarsi esattamente. Sarà dopo tutto questo cosa facilissima il conoscere qual sia il volume del gas assorbito ridotto questo volume alla temperatura zero ed alla pressione di cent. 76.

Tre sono i gas che si trovano nel sangue: cioè acido carbonico, ossigeno ed azoto: ora Fernet ha studiata la solubilità di questi gas nelle soluzioni di carbonato di soda, di solfato di soda, di clorato di soda, ed in fine nel siero del sangue, che contiene una certa quantità di questi tre sali. Ecco i risultati da lui ottenuti.

Acido carbonico. — I volumi d' acido carbonico assorbiti da una soluzione di carbonato di soda non obbediscono alla legge di Dalton (651), cioè ridotti questi a zero ed alla pressione di 76 c., non sono proporzionali alle pressioni. Ciò avviene perchè una parte

del gas si combina colla soda, e forma bicarbonato di soda, mentre l'altra parte si discioglie semplicemente secondo un coefficiente di solubilità un poco più piccolo di quello relativo all'acqua. La somma poi dei volumi del gas, uno combinato e l'altro sciolto è più grande del volume dell'acido carbonico, che si discioglierebbe nell'acqua pura.

Nel fosfato di soda si hanno gli identici risultati.

Finalmente un volume di siero del sangue assorbe il gas carbonico più di quello che faccia l'acqua pura alla medesima temperatura, comportandosi come una soluzione di carbonato e fosfato di soda.

Ossigeno. — Una soluzione di carbonato o di fosfato di soda assorbe una piccola quantità d'ossigeno, che è ritenuto per affinità chimica, mentre un'altra parte è semplicemente sciolta.

Il sal marino discioglie semplicemente l'ossigeno con un coefficiente minore di quello relativo all'acqua pura.

Il siero del sangue si allontana molto meno dalla legge di Dalton nell'assorbimento dell'ossigeno, che in quello dell'acido carbonico. Esso scioglie un poco più d'ossigeno di quello che faccia l'acqua pura.

Azoto. — Le soluzioni saline ed il siero del sangue sciolgono l'azoto presso a poco come l'acqua pura.

Solubilità dei detti gas nel sangue. — Operando sul sangue avente tutti i suoi globuli, ma privato previamente dei gas, Fernet ha verificato, che il volume d'acido carbonico assorbito è presso a poco eguale a quello, che assorbe il siero. Il sangue adunque relativamente all'acido carbonico si porta come una soluzione dei sali minerali, che sono contenuti nel siero.

Per l'ossigeno il coefficiente della semplice solubilità è 0,0287 e non differisce molto da quello relativo all'acqua pura, il quale è 0,0295 alla temperatura 15°, e da quello del siero; ma il volume d'ossigeno combinato è 0,0954 numero tre volte più grande. Si deve adunque dire, che ai globuli del sangue appartiene la parte principale nell'assorbimento dell'ossigeno. Il rapporto poi del volume dell'ossigeno combinato al volume di quello semplicemente sciolto comparirà più grande, quando si rifletta, che l'ossigeno nell'aria possiede solamente una pressione d'un quinto d'atmosfera (653), onde un litro di sangue ne può sciogliere litri $\frac{0,0287}{5}=0,00574$ considerato alla pressione di 76 cent., mentre ne ritiene per affinità chimica litri 0,0954, numero 16,6 volte più grande.

656. Sviluppo da un liquido dei gas disciolti. — Interessa alla scienza di potere separare da un liquido i gas, che quello tiene disciolti, il che si può ottenere con quattro diversi metodi, cioè 1° colla diminuzione della pressione al disopra del liquido; 2° col passaggio d'un gas estraneo; 3° coll'elevazione della temperatura; 4° coll'ebollizione.

657. Azione del vuoto. — Risulta dalla legge di Dalton (651) che se si faccia il vuoto sopra ad un liquido, o si diminuisca la pressione, il volume del gas disciolto deve rimanere inalterato, ma la tensione di esso gas diviene eguale a quella del gas libero di-

radato: deve adunque decrescere la densità del gas disciolto, e quindi una sua parte deve rendersi libera, abbandonando il liquido. Si apra una bottiglia di acqua di Seltz, la quale porta disciolta una grandissima quantità d'acido carbonico, che al disopra del liquido ha una tensione di 4 atmosfere. Allorchè si apre la bottiglia, si riduce la pressione ad una sola atmosfera: è per questa diminuzione di pressione, che il gas esce dal liquido sotto forma di numerosissime bolle. Magnus, che è stato il primo ad estrarre i gas dal sangue, introduceva questo in una campana capovolta sopra al mercurio. Fatto poi il vuoto nella parte superiore di essa campana, ivi si raccoglievano i gas, i quali abbandonavano il sangue.

658. Passaggio d'un gas estraneo. — Se si lasci una soluzione gasosa a contatto d'un' atmosfera, che poco o nulla contenga del gas in quella disciolto, si vedrà che questo gas a poco a poco abbandona il liquido e passa nell'atmosfera. Cessa però tale passaggio quando l'atmosfera è satura di quel gas. Il medesimo passaggio sarà poi oltremodo rapido, se si faccia attraversare la soluzione da un gas estraneo, poichè allora rinnovandosi continuamente l'atmosfera gasosa a contatto della soluzione, quella non sarà mai satura del gas disciolto. Ad esempio, una corrente d'idrogeno, che passi per una massa di sangue mantenuta alla temperatura di 40°, discaccia completamente l'acido carbonico, l'ossigeno, e l'azoto sciolti nel sangue stesso.

659. Elevazione della temperatura. — Si è da noi detto (650), che elevandosi la temperatura d'un liquido, si diminuisce il coefficiente di solubilità. Ne viene pertanto, che quando si riscalda un liquido, in cui è sciolto un gas, una quantità di esso gas deve abbandonare il liquido.

660. Ebollizione. — L'ebollizione è uno dei mezzi più efficaci per discacciare da un liquido i corpi gasosi in esso disciolti, perchè primieramente, trattandosi d'acqua sottoposta all'ordinaria pressione, essa bolle a 100°, alla quale temperatura, come abbiamo detto (650), è zero il coefficiente di solubilità dei gas; secondariamente perchè le bolle di vapore, che attraversano il liquido, esercitano l'officio d'un gas estraneo, che rapidamente attraversa la soluzione.

661. Estrazione dei gas dall'acqua. — Si suole usare quest'ultimo mezzo per estrarre i gas disciolti nell'acqua. Si empie a tal uopo d'acqua un gran matraccio di vetro, che si pone sopra ad un fornello, e la cui bocca si chiude con un turacciolo, il quale è attraversato da un tubo di vetro pieno d'acqua, e che, essendo ricurvo, termina coll'altro estremo sotto ad una campana piena di mercurio, la quale pesca colla sua bocca in un recipiente, che contiene pure mercurio. Scaldando il matraccio, si fa dilatare l'acqua, onde parte di essa si reca nella sommità della campana, e ben tosto bolle di gas si vanno a formare nel collo del matraccio, le quali crescono di numero e di grandezza, allorchè il liquido si appressa al punto d'ebollizione. La campana, la quale ha ricevuto l'acqua proveniente dalla dilatazione e l'acqua discacciata dalle prime bolle dal tubo, si può cambiare in un'altra destinata a raccogliere e contenere i gas resi liberi ed il liquido, che seco i gas trasportano.

Dopo di aver mantenuta l'ebollizione per qualche minuto si cessa di riscaldare il liquido, e s'introduce l'estremo del tubo, che prima trovavasi sotto alla campana, in un vaso contenente acqua. Questa, premuta dall'atmosfera, andrà ad empire il matraccio, e se vedremo, che il collo di esso si va perfettamente empiendo senza che apparisca alcuna bolla gasosa, saremo certi, che tutto il gas è stato scacciato dall'acqua, e che perciò l'ebollizione ha durato abbastanza. Si misura quindi il volume del gas raccolto, si confronta col volume del liquido e se ne fa l'analisi.

662. Estrazione dei gas dal sangue. — Colla ebollizione ordinaria sotto la pressione di cent. 76 non è possibile di estrarre i gas dal sangue, poichè questo ad una temperatura minore del punto d'ebollizione si coagula, formando una massa solida, che tiene incarcerati i gas. Ad ottenere pertanto, che i corpi gasosi contenuti nel sangue si rendano liberi, bisogna abbassare il punto d'ebollizione per mezzo del vuoto, cosicchè il sangue bolla ad una temperatura di circa 40° (552). Hoppe a tale scopo usava il vuoto barometrico, ed i suoi allievi Ludwig e Scoffer impiegarono la macchina pneumatica a mercurio (194), ed il loro apparecchio perfezionato in seguito da Helmholtz e Pfluger consiste essenzialmente: 1° nella macchina pneumatica a mercurio; 2° in un ampio recipiente destinato a raccogliere l'abbondante spuma, che si forma dal sangue posto nel vuoto; 3° in un tubo di comunicazione fra le due precedenti parti pieno di pomice imbevuta d'acido solforico destinato ad assorbire il vapore acqueo dei gas. Queste diverse parti dell'apparecchio sono unite insieme per mezzo di tubi muniti di chiavette a perfetta tenuta di gas. Si comincia dal fare il vuoto più perfetto che sia possibile, e questo si va poi rinnovando dopo che il sangue si è introdotto nell'apparecchio, per raccogliere i gas, che si sono formati. Il chiarissimo Gréhant su questo principio ha proposto un apparato assai più adatto del precedente. In esso non trovasi il grande recipiente, e per ciò si può subito formare il vuoto anche con piccola macchina pneumatica contenente poco mercurio. Si può inoltre col detto apparecchio mantenere per lungo tempo il sangue in ebollizione; il che favorisce la perfetta estrazione dei gas. Invece del recipiente, di cui abbiamo parlato, si abbia (fig. 323) un tubo di vetro *t* di tre centimetri di diametro e d'un metro di lunghezza curvato ad angolo ottuso. Una delle due branche, che è tenuta verticalmente è graduata in parti d'eguale capacità, ed è chiusa nel suo estremo inferiore da un turacciolo di caucciù forato, il quale tiene innestato un tubo di piombo P, che si può comunque ripiegare. L'altro estremo di quest'ultimo tubo si unisce per mezzo d'un cannello di caucciù munito di chiavetta ad un altro cannello V di vetro, che sorge verticalmente, e che nella parte superiore si ripiega in direzione orizzontale. La seconda branca del tubo *t*, che è inclinata all'orizzonte e leggermente affilata, è unita per mezzo d'un tubo di caucciù ad un lungo tubo di vetro, che deve avere più d'un centimetro di diametro ed un metro di lunghezza, e che nella sua parte superiore è annesso alla tromba a mercurio. Tale tubo è circondato da un altro M di maggior diametro, il quale è fissato in un estremo

A al tubo *t* e nell'altro al tubo della macchina pneumatica per mezzo di connessioni di caucciù, in modo che i punti di riunione del tubo *t* e della tromba col tubo intermediario siano completamente immersi nell'acqua fredda, di cui è pieno il cilindro M, avendosi così connessioni idrauliche a perfetta tenuta di gas. La branca verticale del tubo *t* è immersa in un bagno B riscaldato a 40° e mantenuto a questa costante temperatura per mezzo del regolatore a gas (520). Il tubo di piombo è curvato in modo, che il robinetto *r* vada a trovarsi immerso in un vaso C pieno d'acqua fredda. Quando si voglia far uso dell'apparecchio, si empie il manicotto refrigerante M d'acqua fredda o meglio di ghiaccio triturato, ed il tubo, che sormonta il robinetto della macchina pneumatica a mercurio, si mette in comunicazione con una macchina pneumatica comune, e per mezzo di questa si fa un vuoto imperfetto nell'apparecchio. Si fa allora comunicare l'estremo *a* del tubo V con una campana graduata contenente acqua, che si è fatta bollire per privarla dei gas, e la cui superficie è coperta d'uno strato d'olio, perchè l'aria non torni a disciogliersi in essa. Aprendosi il robinetto *r*, per la pressione atmosferica l'acqua è spinta entro al tubo *t*, in cui se ne farà andare circa due centimetri cubi; il qual volume, che deve misurarsi, è necessario che si elevi al disopra del turacciolo di caucciù in un punto, il quale si nota. Si torna quindi a fare il vuoto più perfetto possibile colla macchina pneumatica ordinaria e di poi, tolta la comunicazione con questa, si seguita a fare il vuoto colla macchina a mercurio, e la formazione del vuoto sarà coadiuvata dall'acqua introdotta, la quale si pone in ebollizione, ed i suoi vapori discacciano l'aria restante. Allorchè si è ottenuto il massimo vuoto possibile si unisce l'estremo *a* per mezzo d'un tubo di caucciù ad una cannula introdotta in un'arteria od in una vena, si scioglie una legatura, che teneva compresso il vaso sanguigno, e poi aprendo con precauzione il robinetto *r*, si fa arrivare il sangue nel tubo *t* in sufficiente quantità, e si richiude il robinetto. Posto esso tubo *t* in comunicazione col vuoto barometrico della macchina a mercurio, tosto una quantità di gas del sangue empie la camera barometrica, il quale gas col fare ascendere il mercurio si obbliga a passare in una campana piena di mercurio e rovesciata sopra all'imbuto, che sormonta essa macchina pneumatica: più volte si torna a fare il vuoto ed a spingere il gas nella campana suddetta. Il sangue entra in rapida ebollizione, la spuma arriva nel lungo tubo contenuto in M, ma ivi le bolle di vapore, battendo nelle fredde pareti, si rompono ed il liquido ricade nel recipiente. Si deve rinnovare e proseguire questa manovra, finchè facendo ascendere il mercurio, più non vi si vedono bolle di gas: allora il lavoro è terminato, e ciò si ottiene dopo qualche minuto. Tolto in tal modo tutto il gas semplicemente sciolto nel sangue, resta ancora in questo dell'acido carbonico combinato nel carbonato, e nel fosfato di soda. Se si vuole estrarre anche questo, si fa passare nel recipiente un acido, e dopo ciò fatto il vuoto a più riprese, non si ottiene che gas carbonico. Si fa quindi rientrare l'aria in *t*, si misura il liquido che vi si contiene, ed al volume di questo si sottraggono i volumi dell'acqua e dell'acido

introdotti, e così potremo conoscere la diminuzione subìta dal sangue per la perdita dei gas. L'analisi di questi è facilissima. Un pezzo di potassa umida agitata in mezzo ai gas raccolti assorbe l'acido carbonico; l'acido pirogallico introdotto per mezzo d'una pipetta ed agitato più volte fra i gas assorbe in presenza della potassa tutto l'ossigeno; ciò che resta è l'azoto. Nella seguente tavola sono registrati i risultati ottenuti da Schöffer, i quali mostrano quanto grande sia la differenza di composizione tra i gas del sangue venoso ed arterioso. L'esperienze furono fatte sul sangue d'un cane. Setschenow ha prodotta l'asfissia in un animale, ed ha verificato, come si nota nella tavola, che il sangue venoso non conteneva più che piccole tracce d'ossigeno.

100 volumi di sangue hanno dato in volumi di gas riportati a 100° ed alla pressione di cent. 76 come appresso:

	Azoto	Ossigeno	Acido carbon. ottenuto nel vuoto	Acido carbon. combinato	Acido carbon. totale
Sangue arterioso	1,61 2,3	20,05 22,2	34,8 35,3	tracce 0,88	34,8 36,18
Sangue venoso	1,32 1,64	12,1 11,6	43,5 42,8	4 4	47,5 46,8
Sangue dell'asfissiato	1,84 1,45	tracce tracce	36,9 50,2	4,4 5,3	41,2 55,5

CAPO XVI.

MACCHINISMO DELLA RESPIRAZIONE

663. *Apparecchio della respirazione* — 664. *Respirazione forzata* — 665. *Spirometri* — 666. *Anapnografo di Bergeon e Kastus* — 667. *Misura della capacità assoluta dei polmoni* — 668. *Rinnovellamento dell'aria nei polmoni* — 669. *Distribuzione dell'aria nei medesimi* — 670. *Scambio dei gas nel sangue* — 671. *Penetrazione dei gas e dei vapori nei polmoni.*

663. Apparecchio della respirazione. — L'organo della respirazione può rassomigliarsi ad una tromba aspirante e premente (196) priva dello stantuffo, e che comunichi coll'atmosfera per mezzo d'una sola apertura. Difatti la cassa del torace rappresenta un corpo di tromba, la cui capacità interna è alternativa-

mente aumentata e diminuita per mezzo d' un embolo di natura particolare, il quale è formato dal *diaframma*. Questo muscolo è un tramezzo membranaceo, che separa la capacità toracica dal basso ventre, e che nello stato di riposo si eleva in forma di volta nell'interno della camera respiratoria. Tale forma ed elevazione del diaframma sono determinate dalla forza elastica dei polmoni e dalla pressione atmosferica. La capacità toracica non è in diretta comunicazione coll' atmosfera, ma è da questa separata per mezzo dei polmoni, che interamente la riempiono, e che formano una specie di sacco a numerosi tramezzi, il quale comunica coll' esterno per mezzo della *trachea*. Abbiamo in altro luogo notato (169), che la pressione atmosferica, comprimendo il basso ventre, spinge il diaframma verso l' alto, mentre penetrando l' aria nei polmoni li distende e li obbliga ad aderire alle pareti interne del torace. La distensione, che subiscono i polmoni, è assai considerevole, e siccome il loro tessuto è elastico, questo tende a riprendere un volume minore. Dopo ciò facilmente si comprende il meccanismo fisiologico dei movimenti respiratorii. Quando il diaframma si contrae, la sua curva si appiana specialmente nelle parti laterali, e nel medesimo tempo le coste leggermente si sollevano e si discostano; dal che si produce un aumento della capacità interna del torace, per il quale si diminuisce la pressione dell'aria preesistente nei polmoni, onde viene ad aspirarsi un dato volume d'aria esterna per il ristabilimento dell'equilibrio. Tale è l'atto dell'inspirazione. In un secondo tempo il diaframma ritorna allo stato di riposo, e la elasticità dei polmoni fa riprendere alla camera respiratoria le sue primiere dimensioni: ne risulta un aumento di pressione nell'aria interna, che ne fa escire al difuori una quantità eguale a quella, che si era introdotta nell'inspirazione. In questa espulsione d'aria consiste l'atto dell'*espirazione*. Nella respirazione ordinaria e calma il rinnovellamento dell'aria nei polmoni avviene nel modo ora descritto; cioè l'inspirazione dell'aria è dovuta all'intervento attivo del diaframma, e l' espirazione è un atto puramente passivo. Quanto agli altri muscoli, che hanno uno o più punti d'appoggio sulla ossatura del torace, essi non agiscono che nei movimenti respiratorii *forzati*. I soli muscoli intercostali prendono parte alla respirazione normale, ed il loro officio è limitato esclusivamente a mantenere a convenevole tensione le parti molli, che riempiono gli spazii intercostali, impedendo ad esse di cedere agli sforzi sì dell'interna, che dell'esterna pressione.

664. Respirazione forzata. — Il volume d' aria, che nelle condizioni ordinarie entra in ciascuna inspirazione nei polmoni, e ne esce a ciascuna espirazione, coi metodi, che esporremo, si è veduto essere di un mezzo litro, e rappresenta ciò che dicesi *capacità respiratoria ordinaria* (*). Dopo un'espirazione ordinaria, fa-

(*) La quantità d'aria, che nella respirazione ordinaria e calma entra nei polmoni ed esce dai medesimi, è veramente in media di mezzo litro, quando l'uomo stia in riposo perfetto, ma se egli lavora, dovendo esser più viva la combustione (644), è maggiore la quantità d'aria inspirata ed espirata. Se s'indichi con 1 la detta quantità d'aria assorbita ed emessa da un uomo che stia sdraiato, secondo

cendo agire tutti i muscoli espiratorii, si può diminuire di più la capacità polmonale, e scacciare una nuova quantità d'aria, che costituisce ciò che da Hutchinson appellasi *riserva respiratoria*. Ma anche allorquando è spinta l'espirazione fino al limite estremo, resta sempre nei polmoni un certo volume d'aria, che appellasi *residuo*. Egualmente se dopo un'espirazione forzata si fa un'inspirazione la più completa possibile, penetra nei polmoni, oltre all'aria necessaria a riempire la capacità respiratoria e la riserva, un altro volume d'aria, che Milne-Edwars chiama *capacità complementare*. La somma di questi tre volumi rappresenta ciò, che Hutchinson appella *capacità vitale*, e Milne-Edwars *capacità inspiratoria estrema*. Aggiungendo il *residuo* alla capacità vitale si ottiene la *capacità assoluta*.

665. Spirometri. — Per misurare le suddette capacità sì nello stato di sanità, che di malattia, si sono ideati alcuni apparati detti *spirometri* o *pneometri*, il più usato dei quali è quello di Hutchinson, che consiste essenzialmente in una campana rovesciata e mobile, immersa in un recipiente pieno d'acqua, e tenuta in equilibrio con contrappesi destinati a facilitare i suoi movimenti di discesa e di ascesa. L'aria, che proviene dall'espirazione, è introdotta per mezzo d'un tubo flessibile nella campana, vi prende il posto dell'acqua e fa ascendere la campana di una quantità proporzionale al volume di ess'aria. L'elevamento della campana viene notato da una scala, che le è posta da un lato. È chiaro, che nel calcolare il volume dell'aria deve tenersi conto dell'attuale sua temperatura e pressione.

Boudin ha ideato un altro spirometro, che consiste in un pallone elastico di caucciù, il quale ordinariamente trovasi sgonfio, e con una parete in contatto coll'opposta. S'introducono in questo i gas provenienti dall'espirazione: il pallone allora si gonfia, e fa sollevare una piccola verga graduata e fissa verticalmente sulla superficie superiore di esso pallone. La detta verga si eleva attraverso di un foro praticato in un semicerchio metallico, le cui estremità riposano su di un piano d'appoggio. L'elevarsi della verga viene ad indicare il volume del gas racchiuso nel pallone.

Un altro spirometro si deve a Bonnet, che lo ha chiamato *pneumatometro*. Questo è fondato sul principio dei contatori a gas. Guillet ne ha formato un altro comodissimo ad essere trasportato, che viene detto *pneusimetro ad elice* e che consiste in un piccolo tubo, il quale porta nel suo interno un mulinello simile a quello di Robinson, di cui parleremo (722). Soffiandosi a traverso il tubo, il mulinello si pone a rotare, ed il numero dei giri effettuati du-

Schimit la quantità d'aria assorbita ed emessa nei differenti stati corporei è come appresso:

Seduto 1,18. — In piedi 1,33. — Camminando e facendo un chilometro e mezzo all'ora 1,90. — Cavalcando al passo 2,20. — Cavalcando e facendo tre chilometri all'ora 2,76. — Cavalcando di galoppo 3,16. — Cavalcando di trotto 4,03. — Nuotando 4,32. — Correndo e facendo 10 chilometri all'ora 7,00. Un vestiario stretto, una replezione stomacale, lo stato di gravidanza, e gli stati morbosi, che restringono la capacità toracica, diminuiscono la capacità respiratoria. Vi influisce anche l'età, mentre la detta capacità respiratoria, che è maggiore negli uomini, minore nelle donne, va crescendo fino ai 35 anni, diminuisce in seguito.

rante un'espirazione è indicato dall'indice d'un contatore annesso all'apparato. Per mezzo di una formola si deduce da questo numero il volume dell'aria espirata.

666. Anapnografo di Bergeon e Kastus. — I descritti spirometri fanno conoscere il volume d'aria inspirata ed espirata, ma non la frequenza dei movimenti respiratorii e la loro durata. Vierordt, Marey e Chauveau hanno ideato altri processi per misurare la frequenza dei detti movimenti, la loro estensione e le variazioni subìte dalla pressione dell'aria assorbita ed emessa secondo la velocità della corrente di entrata ed escita; ma questi processi non indicano la quantità d'aria inspirata ed espirata. Bergeon e Kastus hanno inventato un apparecchio detto *anapnografo*, che registra tanto la frequenza dei moti respiratorii, le variazioni della pressione della corrente d'aria in tutti gli istanti della respirazione, quanto i volumi d'aria inspirata ed espirata. Nella parte anteriore d'una scatola (Fig. 324), che per mezzo d'un tubo flessibile fissato in A è posta in comunicazione colle vie respiratorie, avvi una valvola V formata d'una lamina sottilissima d'alluminio, mobile intorno ad un asse orizzontale: due piccole molle antagoniste, la cui azione è regolata dai bottoni R, R', riportano la valvola alla posizione verticale quando cessa la forza, che la sposti dalla posizione suddetta. Una leva leggerissima è congiunta all'asse orizzontale, che ruota colla valvola, ed è diretta verticalmente in basso, portando al suo estremo inferiore una punta S, la quale traccia su di una striscia di carta mobile gli spostamenti della valvola. È un apparato d'orologeria quello, che fa scorrere la carta con moto uniforme. Quando si vuole mettere in opera l'anapnografo, si adatta al naso della persona, che si sottopone all'esperimento, una specie d'imbuto, che comunica col tubo flessibile fissato in A. A ciascun movimento respiratorio la pressione dell'aria aumenta o diminuisce nell'interno della scatola, e per conseguenza l'aria tende ad escire o ad entrare in questa per mezzo della valvola V, che chiude esattamente il fondo della scatola, senza però che subisca alcun contatto od attrito, spingendola o verso l'esterno o verso l'interno. Pertanto i movimenti della valvola indicano il passaggio dell'aria nell'interno dell'apparato, e così sono disposte le cose, che la quantità di spostamento della valvola è proporzionale alla quantità d'aria inspirata od espirata. La linea tracciata da questo apparato è sinuosa come quella data dallo sfigmografo (142), e quindi ci dà: 1° la durata dei movimenti d'inspirazione ed espirazione per mezzo della larghezza dei denti; 2° la variazione della pressione e della velocità della corrente d'aria per mezzo dell'altezza dei denti suddetti, e conseguentemente 3° il volume d'aria inspirata ed espirata in un dato tempo per quanto piccolo.

667. Misura della capacità assoluta dei polmoni. — Per quanto si faccia forzato un movimento d'espirazione, non si giunge mai ad espellere tutta l'aria dai polmoni, rimanendo sempre in essi il *residuo* (664), ond'è che nessuno degli apparecchi descritti giunge a misurare la capacità assoluta dei polmoni. È stato Grèhant quegli, che ha dato un ingegnoso metodo per misurare la suddetta capacità assoluta; il qual metodo è il seguente. Le ricerche

di Regnault e di Reisset hanno fatto conoscere, che il gas idrogeno è poco assorbito dai polmoni, in maniera che un animale dovrebbe respirare per molte ore in una mescolanza di ossigeno e di idrogeno, perchè quest'ultimo gas diminuisca in modo sensibile, comportandosi l'idrogeno come l'azoto. Di più hanno veduto i suddetti fisici, che l'idrogeno non si trova mai allo stato libero nelle vie aeree, e se vi si introduce artificialmente con una inspirazione, è facile il riconoscerlo e misurarlo per mezzo dei prodotti della respirazione. Basato su questo principio Grèhant opera così: Nella campana C (fig. 325) munita di un robinetto R a tre tubulature e contenente dell'acqua, si fa passare mezzo litro di idrogeno puro. Un individuo, che si assoggetta all'esperimento, tiene chiuse le narici, introduce nella bocca un tubo di vetro fisso al robinetto ed appoggia le labbra nell'imbuto E. Nella posizione espressa in figura della chiavetta l'imbuto E comunica non già colla campana C, ma con un secondo imbuto *e*, alla cui bocca sta tirata una rete metallica. Attraverso di questa si fanno adunque l'inspirazione e l'espirazione dell'aria, e questi due movimenti sono resi manifesti dal rumore, che oscillando produce la rete. Al terminare di una espirazione si fa girare per 90° il robinetto; con ciò si stabilisce la comunicazione tra C ed E, e subito ha luogo l'inspirazione del mezzo litro di idrogeno.

Più movimenti respiratorii si eseguiscono in questa posizione, e dopo la quarta o quinta espirazione si chiude la detta comunicazione. Durante l'esperimento bisogna ben badare di non avvicinare alla bocca un corpo ardente, perchè i polmoni contengono un gas detonante. Nella campana C invece dell'idrogeno puro si trova una mescolanza in ogni parte omogenea composta d'idrogeno, ossigeno, azoto, ed acido carbonico. Questa mescolanza si analizza, introducendone una quantità nell'eudiometro ad acqua (318) in modo che 100 volumi della mescolanza siano uniti a 100 volumi d'aria. Si fa passare una scintilla elettrica, e con ciò si formerà dell'acqua, unendosi l'idrogeno coll'ossigeno. Diminuirà pertanto il volume del gas; e poichè l'idrogeno nell'acqua è in volume doppio dell'ossigeno, due terzi del volume scomparso indicheranno il volume dell'idrogeno, che trovavasi nei 100 volumi della mescolanza. Essendosi eseguito questo esperimento in un giovane di 29 anni e di robusta costituzione, il gas raccolto dopo la quinta espirazione si è trovato contenere 14,6 centimetri cubi d'idrogeno per ogni 100 della mescolanza. Se pertanto centimetri 14,6 sono contenuti in 100 di mescolanza, un solo centimetro cubo d'idrogeno in quanti di mescolanza sarà contenuto? Avrà luogo la proporzione $100 : 14{,}6 = x : 1$, che ci dà $x = \frac{100}{14,6}$. Ne verrà quindi, che il mezzo litro d'idrogeno ossia centimetri c. 500, che furono inspirati, si debbano trovare in centimetri c. di mescolanza $\frac{100 \times 500}{14,6} = 3{,}43$ litri. Adunque l'aria, che riempie i polmoni dopo un'inspirazione di mezzo litro, è di litri 3,43. Tale sarebbe la cercata capacità assoluta; e se l'espirazione sarà pure eguale a mezzo litro, il volume dell'aria che rimane nei polmoni dopo quel secondo movimento, sarebbe di litri 2,93.

L'esattezza di questo processo riposa sull'ipotesi, che l'idrogeno dopo 5 espirazioni fatte nella campana sia distribuito egualmente in questa e nei polmoni. Gréhant ha dimostrato ciò esser vero. Ha egli ripetuta l'esperienza precedente sulla medesima persona più volte; ma una prima volta ha raccolti e misurati i gas della seconda espirazione, in un secondo esperimento i gas della terza espirazione, e così di seguito; ed ha trovato, che dopo la quarta espirazione i gas della campana contenevano sempre eguale quantità d'idrogeno; il che dimostra, che la mescolanza era divenuta perfettamente omogenea riguardo all'idrogeno tanto nella campana, quanto nei polmoni.

Per avere però la reale misura del volume dell'aria contenuta nei polmoni, è necessario, che l'aria della campana ed i gas contenuti in essa siano alla medesima temperatura dei gas racchiusi nell'apparecchio respiratorio. Essendo la temperatura di questi ultimi di circa 35°,5 ed in istato di saturazione riguardo al vapore acqueo (597), si dovrebbe operare in una stufa, cosicchè i gas della campana fossero mantenuti alla detta temperatura ed in istato di saturazione in quanto al vapore acqueo. Siccome però ordinariamente si fa l'esperimento ad una temperatura più bassa, è d'uopo fare delle correzioni. L'aria racchiusa nei polmoni avrebbe un volume di litri 2,93 quando si trovasse alla temperatura della campana, che supponiamo di 15° e satura di vapore acqueo, la cui tensione massima chiamiamo con f. Domandiamo un tal volume d'aria, che addiverrà, essendo la sua temperatura 35°,5 ed F la tensione massima del vapore acqueo che la satura? Facciamo prima la correzione relativa al cambiamento di temperatura. Indicando con α il coefficiente di dilatazione dei gas, i litri 2,93 portati a zero gradi diverrebbero litri $\frac{2,93}{1+15\alpha}$, e quindi alla temperatura 35°,5 passerebbero ad essere litri

$$\frac{2,93\,(1+35,5\alpha)}{1+15\alpha},\ (509).$$

In quanto al cambiamento di tensione del vapore acqueo notiamo, che, essendo H la pressione atmosferica, ed f la tensione del vapore, la quale a quella si oppone, la vera pressione, che si esercita nel gas a 15° è $H-f$, mentre quando la tensione del vapore acqueo è F, la pressione subìta dal gas è $H-F$. Sapendo che i volumi di un gas alla medesima temperatura sono fra di loro nella ragione inversa dei pesi comprimenti (179), ed avendo ora veduto che il volume del gas a 35°,5 ed alla pressione $H-f$ sarebbe $\frac{2,93\,(1+35,5\,\alpha)}{1+15\,\alpha}$, troveremo il volume x che prenderà alla pressione $H-F$ mediante la proporzione

$$x : \frac{2,93\,(1+35,5\,\alpha)}{1+15\alpha} = H-f : H-F$$

dalla quale si deduce $x = \frac{2,93\,(1+35,5\alpha)\,(H-f)}{(1+15\alpha)\,(H-F)}$.

Supponendo essere H = mm. 760, e sostituendo ad f, F i relativi valori dati dalla tavola delle forze elastiche del vapore acqueo (566), si ottiene $x = 3,27$ litri (*):

668. Rinnovellamento dell'aria nei polmoni. — L'aria pura, che penetra nei polmoni per l'inspirazione, è in parte rimandata indietro per l'espirazione assieme coll'aria viziata; l'altra parte rimane nei polmoni e somministra l'ossigeno al sangue. Per conoscere qual sia la parte dell'aria che rimane nei bronchi, e quale è quella che inalterata è rimandata fuori, bisogna separare quest'ultima dall'aria viziata, con cui si mescola nell'espirazione. Ciò si ottiene facilmente, facendo inspirare l'idrogeno invece dell'aria, essendosi verificato che quello si comporta come questa. Nella campana disopra descritta s'introduce mezzo litro di idrogeno, e dopo un' espirazione ordinaria si fa ad un individuo inspirare questo gas, e si raccoglie nella campana stessa l'egual volume dei gas emessi nella successiva espirazione. Analizzati questi, si trova che essi contengono 170 centimetri c. d'idrogeno uniti a 330 d'aria viziata Adunque 330 centimetri cubi d'idrogeno rimangono nei polmoni; e ciò dimostra che circa un terzo dell'aria inspirata ritorna inalterata nell' atmosfera, e due terzi penetrano e si sostituiscono all' aria viziata a contatto della muccosa polmonale.

669. Distribuzione dell' aria nei polmoni. — La distribuzione dell'aria nei polmoni ha un' influenza essenziale nel meccanismo della respirazione, poichè l'aria inspirata che contiene 20,8 per 100 di ossigeno ed un mezzo millesimo circa d'acido carbonico, rimpiazza l'aria viziata, la quale ben presto diverrebbe impropria all'*ematosi*, ossia al cambiamento del sangue venoso in arterioso. Domandiamo: dopo un'inspirazione di mezzo litro d'idrogeno una forzata espirazione, capace di scacciare due litri di gas, può

(*) La capacità dei polmoni varia riguardo al sesso, alla statura, all'età e ad altre circostanze. Difatti il volume dell'aria, che, in seguito alla possibile più profonda inspirazione, si emette colla più forte possibile espirazione, si trova essere in media di centimetri cubi come appresso.

Riguardo al sesso. Uomo adulto e robusto 3770
Donna » » 2550

Riguardo all'altezza del corpo.

per un'altezza di cent.	152	2870
» »	162	3170
» »	172	3640
» »	182	4460

Riguardo all'età.

Aumenta la capacità	dai 20 ai 25	anni	di un medio di	10
	dai 25 ai 30	»	»	30
	dai 30 ai 35	»	»	90
Diminuisce la capacità	dai 35 ai 40	»	»	300
	dai 40 ai 45	»	»	150
	dai 45 ai 50	»	»	75
	dai 50 ai 55	»	»	75
	dai 55 ai 60	»	»	150.

Diminuiscono la capacità respiratoria le seguenti circostanze: vita sedentaria, replezione stomacale, flatulenze intestinali, strettezza dei vestiti.

L'aumentano i mestieri faticosi, la posizione eretta del corpo, la vacuità dello stomaco.

espellere tutto l'idrogeno inspirato? L'esperienza ci dice non esser ciò mai possibile. In vero si è sperimentato che dopo l'inspirazione di mezzo litro d'idrogeno, fatta un'espirazione forzata, che discacci dal polmone litri 1,975, questa non rigetta che centimetri c. 334 d'idrogeno, restandone nell'organo della respirazione gli altri centimetri c. 166. È certo d'altronde, che il movimento d'espirazione non può far penetrare a più grande profondità nell'albero aereo il gas introdotto nella precedente inspirazione; onde devesi conchiudere che il movimento d'inspirazione è quello che introduce l'aria a tale profondità da non potere la successiva espirazione espellerla tutta quanta.

Dopo un'ordinaria inspirazione di mezzo litro d'idrogeno si faccia eseguire ad un individuo un'espirazione ordinaria od un'espirazione forzata: si troverà, che in ambidue i casi il volume della mescolanza gasosa contiene presso a poco una medesima quantità d'idrogeno; dalla quale cosa si deduce, che dopo due movimenti, l'uno d'inspirazione e l'altro d'espirazione l'aria introdotta nei polmoni si trova distribuita in una maniera uniforme, in modo che la medesima quantità d'ossigeno arriva nei piccoli bronchi e nelle vesciche polmonari. Gréhant chiama *coefficiente di ventilazione* la quantità d'aria pura, che trovasi in una unità di volume della mescolanza gasosa dopo due movimenti uno d'inspirazione e l'altro d'espirazione, e da molti esperimenti ha dedotto, 1° che in ogni duplice atto inspiratorio ogni unità della capacità polmonale riceve più d'un decimo d'aria nuova e pura; 2. che rimanendo costante il volume d'aria inspirata, il coefficiente di ventilazione cresce, se l'espirazione è breve; 3° che il detto coefficiente cresce quanto più l'inspirazione è grande.

670. Scambio dei gas nei polmoni. — Abbiamo detto (649), che nei polmoni avviene l'ematosi, fine principale della respirazione; cioè che ivi il sangue venoso si converte in arterioso, rendendo libero il gas acido carbonico ed assorbendo l'ossigeno dell'aria inspirata. Questo scambio dei gas è un fatto complesso, che abbraccia almeno due ordini di fenomeni, cioè quelli della soluzione dei gas (650) e quelli d'osmosi (156). Difatti i due suddetti gas non sono in immediato contatto l'uno coll'altro, ma sono separati dalla muccosa polmonale assai fina e bagnata, ed uno di essi, cioè l'acido carbonico è allo stato di soluzione nel sangue. Devesi pertanto dire, che l'ossigeno dell'aria introdotto nei polmoni per l'atto dell'inspirazione si scioglie nel liquido, di cui è imbevuta la muccosa polmonale, e ciò secondo le leggi della solubilità dei gas nei liquidi. Dopo ciò fra questo liquido saturato d'ossigeno ed il sangue carico d'acido carbonico si opera attraverso della detta membrana un vero fenomeno d'osmosi, producendosi una doppia corrente in senso contrario, l'una delle quali trasporta l'ossigeno nel sangue, e l'altra conduce l'acido carbonico alla superficie della muccosa. Giunto l'acido carbonico a contatto della massa gasosa contenuta nella cavità polmonale, parte abbandona il liquido, in cui è sciolto, in modo che la parte rimasta nel liquido soddisfaccia alle leggi della soluzione dei gas (651). In quanto poi alla soluzione dell'ossigeno assorbito diciamo, che questo dividesi in due parti, una

delle quali si trova in soluzione nel siero, secondo la detta legge della solubilità dei gas nei liquidi, e che l'altra molto superiore alla prima è fissata dai globuli sanguigni, che hanno un' affinità speciale per l'ossigeno, la qual parte per conseguenza non obbedisce alla ripetuta legge di solubilità.

671. Penetrazione dei gas o dei vapori nei polmoni. — Da ciò, che fin qui si è esposto, si deduce che un gas o vapore mescolato nell'aria penetra nei polmoni come l'aria medesima, e fino dalla prima inspirazione è condotto a contatto dell'estesa superficie dei bronchi, la quale gode d'un grandissimo potere assorbente. Dopo la prima aspirazione del cloroformio, ad esempio, possiamo esser sicuri, che subito questa sostanza è assorbita. Per questa penetrazione immediata dei gas deleterii, che si mescolano coll'aria, si spiegano quei subitanei accidenti, che tanto presto seguono l'inspirazione dei gas venefici fatta dall'uomo, i quali gas sono tosto assorbiti e portati dal sangue arterioso in tutto l'organismo. È adunque ragionevolissimo l'impiego dei vapori medicamentosi; poichè se si vuole ottenere un rapido assorbimento, bisogna servirsi del gran potere assorbente, di cui è dotata la muccosa polmonale.

CAPO XVII.

CAUSE DEL RAFFREDDAMENTO DEGLI ANIMALI

672. *Evaporazione* — 673. *Contatto del mezzo ambiente* — 674. *Raggiamento* — 675. *Uso delle vesti.*

672. Evaporazione. — La temperatura del corpo umano, come altrove abbiamo detto (626), è sempre costante e non soggetta a variazioni notevoli. Una buona alimentazione, l'esercizio, le vesti, le artificiali combustioni e l'aumento della combustione respiratoria permettono di conservare questa temperatura anche nei climi più rigidi. Ma com'è, che la continua combustione polmonale non aumenta la temperatura del nostro corpo? Rispondiamo ciò provenire da che vi sono più cause di raffreddamento, le quali di continuo ci tolgono tanto calore, quanto in noi se ne produce. Queste cause sono: 1. l'evaporamento dell'acqua, 2. il contatto del mezzo ambiente, 3. l'irraggiamento del calorico, che si fa alla superficie del corpo. Incominciamo dall'esporre la prima.

La pelle e la muccosa polmonale sono la sede d'una produzione incessante di vapore acqueo, il quale evaporamento esige (545), che una grande quantità di calorico si faccia latente. L'aria introdotta nei polmoni per l'inspirazione esce nell'espirazione, come sappiamo (597), satura di vapore acqueo alla temperatura di 35°, allorchè quella dell'ambiente è vicina a 20°, che se la temperatura

dell'aria inspirata e la quantità d'acqua, che essa contiene, cambiano, cambia ancora il peso dell' acqua perduta dai polmoni, e tal peso in ciascun caso particolare può calcolarsi col sottrarre al peso dell' acqua contenuta nei prodotti della respirazione quello dell'acqua, che entra coll' aria inspirata. Si ritenga con Lavoisier e Seguin, che la superficie del corpo umano perda in 24 ore un chilogramma d' acqua, mentre nel medesimo tempo la superficie dei polmoni ne perde chilogrammi 0,5: si ammetta inoltre, che questo peso d'acqua sia trasformato dal calore del corpo in vapore a 35°. Essendo il calorico latente di vaporizzazione dell'acqua a 35° calorie 582,2 (615), si comprenderà, che il calore perduto dal corpo per l'evaporamento suddetto è calorie $1{,}5 \times 582{,}2 = 873{,}3$. Ordinariamente però non è così grande la perdita di calore prodotta dall'evaporamento, perchè una parte dell'acqua, che esce dal corpo sotto forma di sudore, bagna le vesti, che poi si asciugano a contatto dell'aria a spese del calore atmosferico. Nell'inverno l'ertezza delle vesti, impedendo all'aria di venire a contatto del corpo, diminuisce l'evaporazione, che al contrario è attivissima nell'estate. Abbiamo detto (545), che allorquando l'uomo si espone ad un'altissima temperatura, abbondantissimo è il sudore, ed è valevole a conservare la temperatura del corpo animale ad un grado inferiore di quello dell'ambiente.

673. Contatto del mezzo ambiente. — Un'altra causa di raffreddamento è l' aria, che ci circonda, la quale, essendo quasi sempre a temperatura più bassa di quella del nostro corpo, e ponendosi a contatto di questo, gli toglie calorico in tanta maggior quantità, quanto più essa è fredda. La sottrazione calorifica poi è assai più grande, se l'aria è agitata, e ciò per una duplice ragione; cioè 1° perchè di continuo si rinnova lo strato d' aria fredda, che si pone a contatto del corpo; 2° perchè il movimento dell'aria favorisce e rende più energico l'evaporamento, di cui abbiamo parlato. È questa la causa, per la quale, come asseriscono i viaggiatori, un uomo ben munito di vesti può reggere ad una temperatura di —40°, se l'aria è perfettamente tranquilla, mentre gli è impossibile resistere anche per breve tempo ad un freddo di —17°, quando spira il vento. L' aria che respiriamo viene a togliere calore ai polmoni.

674. Raggiamento. — Il nostro corpo, essendo generalmente ad una temperatura superiore a quella dei corpi circonvicini, deve raggiare, come meglio dirassi in seguito (697), una quantità di calore maggiore di quella, che gli altri corpi raggiano verso il medesimo; ond'è che per questa causa si verifica nel corpo umano una continua perdita di calorico. Tale perdita, che si fa da tutta la superficie del corpo attraverso delle vesti, è sommamente intensa nelle notti serene, perchè, mancando le nubi, il calorico non è da queste rimandato indietro, ma si disperde nello spazio. È quindi cosa assai nociva il dormire allo scoperto, potendosi per la suddetta perdita di calore contrarre anche nei paesi caldi gravissime malattie.

675. Uso delle vesti. — Le cause di raffreddamento, che abbiamo considerate, e che variano d'intensità a seconda delle sta-

gioni e delle fisiche condizioni dell'atmosfera, rendono necessario l'uso delle vesti, che secondo Martins producono tre effetti principali: cioè 1° si oppongono ad un troppo energico evaporamento e diminuiscono l'influenza dell'aria ambiente sulla pelle; 2° tengono imprigionato lo strato d'aria riscaldata per il contatto della cute; 3° diminuiscono l'irraggiamento. Il secondo degli accennati effetti delle vesti è il più efficace; il conservare cioè attorno al corpo lo strato d'aria già riscaldata, senza impedire però l'esito dell'acqua evaporata per traspirazione. A proteggerci meglio dal freddo, giova portare più vesti, l'una sovrapposta all'altra, poichè lo strato d'aria ad esse interposto impedisce la partenza del calorico, come dirassi in appresso (692). Le vesti non solo ci difendono dal freddo, ma ancora dal soverchio caldo, impedendo che il calorico raggiato dal sole e dai corpi circostanti giunga alla pelle.

CAPO XVIII.

METODI DI RISCALDAMENTO E DI VENTILAZIONE

676. Tiro dei camini. — Nei nostri climi non basta nell'inverno l'uso delle vesti, ma dobbiamo sviluppare artificialmente calore per mezzo della combustione. Deve conoscere il medico i mezzi di riscaldamento, che per lo più sono ancora mezzi di ventilazione, i quali hanno stretta relazione coll'igiene. Gli apparecchi usati a tal uopo sono di varia forma, ma tutti debbono avere una disposizione tale, che l'aria esterna sia chiamata per produrre la combustione, ed i gas ed il fumo, che ne risultano, escano al di fuori degli appartamenti; il quale duplice scopo è bene raggiunto dal *tiro dei camini*. Al disopra dell'apparato, in cui succede la combustione, un tubo si eleva verticalmente od obliquamente, in modo però che l'apertura del tubo non rivolta al combustibile sia più elevata dell'altro. Quando l'aria contenuta dalla canna è riscaldata dal sottoposto fuoco, diviene più leggiera, si eleva e cede il posto all'aria fredda, che penetra nel tubo per la bocca inferiore. A bene comprendere ciò si chiami con P il peso della colonna atmosferica sovrincombente all'estremo esterno della canna del camino. Uno strato d'aria, che trovisi all'estremo inferiore di essa canna, sarà premuto dall'alto in basso dal peso P dell'aria esterna, più dal peso q dell'aria calda, che trovasi nell'interno del tubo. Il medesimo strato poi sarà premuto dal basso in alto dal peso P dell'aria sovrincombente alla bocca esterna della canna e dal peso q' d'una

colonna d'aria alta quanto il detto tubo del camino. Siccome però questa colonna è fredda, avrà un peso specifico maggiore di quello dell'aria contenuta nella canna; onde sarà $q' > q$, e quindi $P + q' > P + q$. Sarà per conseguenza quello strato d'aria spinto in alto con una forza eguale a $q' - q$, che costituisce il tiro del camino.

È il tiro del camino, che rende salubre un vano riscaldato, e per ciò il riscaldare direttamente l'aria d'un appartamento con i bracieri e foconi, che, accesi al di fuori, poi s'introducono nelle camere, è uso riprovevole e totalmente da eliminarsi, specialmente se dalla combustione si produca ossido di carbonio, gas così velenoso, che l'aria, la quale ne contenga un centesimo, è deleteria.

677. Camini ordinarii. — I grandi camini anticamente usati avevano gravi difetti. L'aria fredda esterna arrivava in grande quantità, e le ampie dimensioni della bocca del focolare e della canna impedivano che molto si riscaldasse l'aria racchiusa. Se spirava il vento, si producevano nell'interno della canna correnti d'aria fredda discendenti, le quali mandavano indietro il fumo. Rumford ha diminuito di molto la profondità e la larghezza, che si solevano dare al focolare, il quale ha egli lateralmente limitato con due pareti inclinate a 45°, e Lhomond aggiunse alla bocca del focolare una lamina mobile a saracinesca, che offre un gran vantaggio. Invero allorquando il combustibile è bene acceso, si abbassa la lamina incompletamente, cosicchè l'aria, la quale s'introduce al disotto, sia sufficiente ad alimentare la combustione. Quest'aria si viene a scaldare moltissimo, e rende energico il tiro nella canna, la quale per ciò può avere piccole dimensioni, e mantenere nondimeno viva la combustione. Il riscaldamento coi camini permette, che si vegga il fuoco, il che rallegra; ma poco si utilizza del calorico sviluppato, poichè i prodotti gasosi e l'aria in eccesso, la quale non serve alla combustione, che sono riscaldatissimi, portano con sè e disperdono la maggior quantità di calorico e molte particelle semiuste di legno. Producono al contrario i camini una ventilazione assai energica, mostrando Péclet che per un chilogrammo di legno bruciato in un'ora in un camino ordinario il volume d'aria richiamata in detto tempo è di 375 metri cubi. La ventilazione è diminuita per la resistenza che l'aria prova nel passare per le fessure, ove si generano correnti assai vive, le quali si sogliono sentire presso le porte e finestre, e sono fastidiose e spesso nocive. Le ventole girevoli, che si costuma adattare alle finestre ed alle porte, diminuiscono le dette correnti d'aria fredda. Per utilizzare un poco più del calorico generato nella combustione, si adattano al fondo ed alle pareti laterali del focolare gli estremi di alcuni tubi di metallo comunicanti coll'esterno, i quali tubi cogli altri estremi terminano nell'alto della camera. L'aria, che penetra in questi tubi è portata ad una temperatura elevata, si solleva e si diffonde nella camera, richiamando nei tubi altr'aria esterna. L'aria viziata della camera per la respirazione e per i lumi è quella, che viene richiamata dal tiro del camino; ed è per questo, che i camini sono, come abbiamo detto, molto igienici. Il combustibile riscalda per irraggiamento i corpi, che si presentano al focolare, senza riscaldare di molto l'aria ambiente, perchè grande è il potere che ha questa di far passare i

raggi di calore, come si vedrà in seguito (706); ond'è che i polmoni, respirando aria fresca, meglio sopportano, quando si esce dalla camera, l'impressione dell'aria esterna.

678. Stufe. — Le stufe sono apparati fissi, che hanno un focolare, il quale porta nella parte inferiore una graticcia orizzontale carica di combustibile, e nella parte superiore ha annesso un tubo, che va a terminare nell'esterno dell'edifizio. L'aria, che, tirata al disopra della graticcia, alimenta la combustione, e, riscaldata ed unita ai gas prodotti, attraversa il tubo ed esce al difuori. Il calore di essi gas viene ceduto alle pareti del tubo, e queste costantemente lo cedono all'ambiente per irraggiamento e per contatto; per il che quando i gas escono dal tubo sono molto raffreddati, e quindi piccola è la parte di calorico, che inutilmente si disperde, purchè si dia alla canna una sufficiente lunghezza.

Le pareti delle stufe di coccia o maiolica non ascendono mai ad elevata temperatura, e per la loro cattiva conduttricità rimangono per lungo tempo calde, anche quando è spento il fuoco. Allorchè è finita la combustione, va chiuso l'estremo inferiore del tubo con una valvola, che dicesi *chiave della stufa*, e ciò per impedire, che l'aria esterna chiamata dal tiro non vada a raffreddare la stufa ed il tubo. Queste stufe di coccia sono da preferirsi alle metalliche, le cui pareti facilmente giungono ad una temperatura altissima, in modo ancora da arroventarsi. Quindi è, che la quantità di calore raggiato è troppo grande; le particelle organiche, che stanno sospese nell'aria rimangono bruciate, producendo un cattivo odore; ed in pari tempo l'aria fortemente riscaldata acquista una capacità grandissima a contenere il vapore (543), onde dissecca la bocca e le narici. Ad impedire quest'ultimo nocivo effetto si consiglia di tenere sopra alla stufa un vaso pieno di acqua per somministrare all'aria il necessario vapore; ma è meglio di eliminare totalmente l'uso di tali stufe metalliche.

679. Caloriferi. — Sono però vantaggiose le stufe metalliche, quando siano convertite in *caloriferi*. Si circonda con un cilindro metallico la stufa, e con un tubo metallico la canna. Questo inviluppo comunica nella sua parte inferiore per mezzo d'un altro tubo coll'aria libera esterna all'edificio mediante un foro praticato nel muro, e che può aprirsi e chiudersi a piacere. L'estremo superiore del tubo, che contiene la canna, si apre nella camera. L'aria salubre esterna si pone a contatto della stufa, si riscalda e si diffonde nella camera, mentre l'aria viziata di questa va sotto alla graticcia del focolare, alimenta la combustione e per la canna esce al difuori. Il continuo passaggio dell'aria fredda a contatto delle pareti della stufa impedisce il soverchio riscaldamento di queste. Si fanno dei caloriferi, i quali accesi la mattina durano nella combustione tutto il giorno, senza che sia necessario il sorvegliarli. Martin a tal fine ha disposto sopra alla graticcia un tubo in forma di tronco di cono, il quale, acceso il fuoco, si empie di carbone coke, che discende nella graticcia un poco per volta ed a misura che il combustibile si consuma.

680. Riscaldamento e ventilazione dei grandi edifizi. — Il riscaldamento e ventilazione dei grandi edifizi, come ospedali,

biblioteche ecc., si sogliono ottenere o con caloriferi, o con apparati ad acqua calda, o a vapore. Volendo riscaldare le varie sale d'un edificio coi caloriferi, si dispone nella parte più bassa di esso, ad esempio in un sotterraneo, un gran fornello contenente un focolare ed un sistema di tubi, entro ai quali l'aria circola liberamente, poichè i tubi stessi comunicano coll'esterno per mezzo di un'apertura. La fiamma del focolare riscalda i tubi e l'aria in essi contenuta, la quale diviene più leggiera ed ascende, percorrendo un certo numero di condotti, che la guidano nelle varie sale, dove esce per mezzo di fori detti *bocche di calore*. Per regolare il riscaldamento o farlo cessare, non si ha da fare altro, che chiudere più o meno od anche completamente le dette bocche. Si ha poi con questo metodo anche la ventilazione, perchè l'aria calda che giunge, scaccia sempre un volume eguale d'aria viziata, la quale esce per apposite aperture munite di ventole girevoli.

Il riscaldamento ad acqua calda si ottiene per mezzo d'apparati detti *termosifoni*. S'immagini che nella parte inferiore dell'edificio sia costruito un fornello in muratura, in cui è collocata la caldaia A (fig. 326), la quale porta annesso un lungo tubo verticale T, che s'innalza attraversando tutti i piani dell'edifizio e va a terminare in E con un serbatoio chiamato *vaso d'espansione*, munito di valvole di sicurezza (580). I tubi metallici C'', C''' hanno per scopo di far comunicare il serbatoio E coi vasi cilindrici, pure di metallo, P, P'. . . . . fatti a guisa di stufe e collocati nelle diverse sale, ed i tubi C', C stabiliscono la comunicazione tra le dette stufe e la parte inferiore della caldaia. Ognuno può capire come avvenga la circolazione dell'acqua. Si empie di questa tutto il sistema: la parte di acqua, che trovasi nella caldaia, per la leggerezza acquistata nello scaldarsi, ascende in alto, cede il posto all'acqua più fredda e perciò più pesante, la quale poi si scalda ed ascende e così via via tutta la massa si viene a riscaldare. Raggiando più calorico la parte contenuta in PP'C''C'''C'C di quello che faccia l'acqua che trovasi nel tubo verticale T, poichè la prima parte del sistema, essendo più estesa della seconda, ha più punti in superficie raggianti calore; ne viene che l'acqua in P, P' addiviene più densa, e perciò deve discendere, cedendo il posto all'acqua più calda che viene da E. Si ha adunque una circolazione del liquido che da A va per il tubo T in E e da E in P, P' dove comunica calorico all'aria ambiente, e quindi torna in A a prendere nuovo calorico, e poi ricomincia il giro. Per avere anche la ventilazione si circonda il recipiente E con una specie di camino, cosicchè quello si trova nel posto in cui si suole collocare il combustibile. L'aria che circonda E si scalda, si solleva nella canna di camino ed esce al di fuori. Avrà luogo un energico tiro, e poichè lo spazio che circonda E si trova in comunicazione colle varie sale per mezzo di larghi tubi, l'aria viziata di queste è spinta verso E, dove giunta, si scalda ed esce, mentre l'aria esterna per le porte e le fessure entra a rimpiazzarla nelle sale. Il difetto dei termosifoni è la grave pressione che l'acqua esercita sulla caldaia e sulle pareti inferiori dei tubi, che facilmente si rompono.

Per dare finalmente un esempio di ventilazione e riscaldamento

ottenuti col vapore, riportiamo un sistema descritto dal Gréhant. Un ventilatore a vapore spinge l'aria esterna proveniente da un'alta canna entro ad un largo condotto metallico, che va a distribuirsi in ciascuna sala. Il condotto passa sotto lastre di ferro fuso che rimpiazzano il piancito per piccola larghezza e per tutta la lunghezza del tubo. Di distanza in distanza recipienti in forma di stufe, pieni d'acqua, sono collocati sopra le dette lastre e ricevono un tronco comunicante col tubo principale, e questo tronco dividendosi in più tubi, che rimangono circondati dall'acqua, emette aria nella sala, e quest'aria discaccia quella viziata, che esce dai fori praticati nei muri. Per tal mezzo nell'estate aria pura e fresca continuamente viene sostituita all'aria viziata. Nell'inverno per riscaldare la detta aria, che s'introduce nelle sale, il vapore, che ha già servito a comunicare il moto al ventilatore, unendosene un'altra quantità che direttamente viene dalla caldaja, percorre un altro tubo, il quale trovasi a contatto di quello che trasmette l'aria, accompagnandolo in tutto il suo tragitto. Quindi è che il calorico del vapore si comunica al tubo vicino ed all'aria in questo contenuta; si trasmette ancora alla lastra di ferro fuso, che lo comunica all'aria della sala. Inoltre parte del detto vapore, per mezzo di appositi tubi, attraversa l'acqua dei recipienti e liquefacendosi le cede le calorìe di vaporizzazione (549); onde è che la detta acqua molto si riscalda e per conseguenza si riscalda anche l'aria, che esce dai tubi circondati dall'acqua. L'acqua procedente dalla condensazione del vapore, per mezzo d'un terzo tubo parallelo ai due precedenti ritorna già tiepida in un vaso e serve a riempire la caldaja. Questo ingegnoso sistema è capace di somministrare in un ospedale aria calda e pura alla ragione di 90 metri cubi per ora e per malato.

681. Confronto dei combustibili. — Pèclet ha determinato approssimativamente la quantità di calore raggiato da diversi combustibili, ed ha conosciuto che il calore raggiato dal carbone di legno è 0,5; dal legno 0,25; da una fiamma ad olio 0,18, essendo 1 la quantità totale del calore prodotto dalla combustione. Si vede che la quantità di calore raggiato dal carbone incandescente è grandissima in confronto di quello emesso dalla fiamma.

I combustibili che più s'impiegano pel riscaldamento sono il legno, il litantrace ed il coke. Il legno è costituito di carbonio, d'idrogeno e d'ossigeno, in proporzioni convenienti a formare acqua, d'idrogeno libero e di ceneri. Per il riscaldamento è da preferirsi il legno ben secco, non solo perchè brucia più presto, ma ancora perchè il calore, che serve ad evaporare l'acqua contenuta dal legno umido, va quasi interamente perduto. L'idrogeno ed ossigeno contenuti nel legno in proporzioni da formare acqua, non producono alcun effetto calorifico utile; onde è che il calore, il quale si può utilizzare, deve ripetersi dalla combustione del carbonio, che è abbondante, e dall'idrogeno libero, che esiste in piccola quantità nel legno. Secondo Rumford un chilogramma di legno secco ordinario produce bruciando circa 3000 calorìe.

Il litantrace contiene su 100 parti 82 di carbonio, 4 d'idrogeno libero, 12 d'ossigeno e d'idrogeno in proporzioni da fare acqua, e 2 di

cenere. È un ottimo combustibile il quale bruciando produce per ogni chilogramma 8000 calorìe, ma parte di questo calore è impiegato a fare evaporizzare l'acqua che nella combustione si forma ed una grande quantità non è raggiato.

Il coke si ottiene dalla distillazione del litantrace nella fabbrica del gas da illuminazione, ed è formato di carbonio e di ceneri più o meno abbondanti. Le calorìe prodotte da un chilogramma di questa sostanza sono circa 7000. Il coke bruciando non produce alcun gas combustibile, e perciò non dà fiamma, e quando è ben acceso raggia molto calorico. Esso deve essere acceso per mezzo di legni, ed allorchè sembra che stia per estinguersi, basta di porgli sopra un pezzo di legno ardente perchè la sua combustione torni ad essere viva. Un bel pregio ha il coke sul litantrace ed è che non tramanda cattivo odore.

CAPO XIX.

CONDUTTRICITÀ DEI CORPI PER IL CALORICO

682. *Doppio modo di propagazione del calore* — 683. *Conduttricità dei corpi* — 684. *Legge di Biot* — 685. *Metodo per misurare la conduttricità dei solidi* — 686. *Influenza della forma del corpo sulla sua conduttricità* — 687. *Proprietà delle reti metalliche* — 688. *Lanterna di sicurezza* — 689. *Conduttricità dei liquidi* — 690. *Moto idrostatico* — 691. *Conduttricità dei gas* — 692. *Applicazione della cattiva conduttricità dei gas.*

682. Doppio mezzo di propagazione del calorico. — Tendendo il calorico a mettersi in equilibrio, si propaga da un corpo all'altro o da una parte all'altra d'un corpo, e questa propagazione succede in due modi ben diversi; cioè 1° propagasi il calorico ai corpi circonvicini, o passa da una parte d'un corpo all'altra, comunicandosi da una molecola all'altra contigua, e questo modo dicesi propagazione per *conduttricità*; o 2° il calorico si slancia da un corpo in forma di tanti raggi, i quali vanno a riscaldare i corpi lontani, attraversando il mezzo frapposto senza aumentarne la temperatura; nel qual caso il modo di propagazione dicesi *irraggiamento* od *irradiazione*. In questo capitolo trattiamo della propagazione per conduttricità.

683. Conduttricità dei corpi. — Al calorico, quando passa da molecola a molecola, dassi il nome di calorico *condotto* o *repente*, e dicesi *facoltà conduttrice* o *conduttricità* pel calorico la proprietà dei corpi di far passare il calore da molecola a molecola, da una loro parte ad un'altra. La conduttricità non è eguale in tutte le sostanze, ma in alcune è maggiore, in altre è minore: i corpi che presentano un facile passaggio al calore si dicono *buoni conduttori*, e *cattivi conduttori* quelli che poco permettono un

tale passaggio. Si parlerà della conduttricità dei solidi, dei liquidi e dei gas.

684. Legge di Biot. — Se una estremità d'un solido venga esposta ad una costante sorgente di calore, è chiaro che una quantità di questo si deve comunicare al primo strato di esso corpo, e passare da questo strato al successivo e così di seguito, andando in tal modo a propagarsi a tutta la massa. Il calorico però nel propagarsi da una parte del corpo alla successiva andrà sempre decrescendo in intensità. Ed in vero, il calorico comunicato dalla sorgente al primo strato non tutto passerà al secondo, ma parte se ne disperderà per irraggiamento, parte se ne comunicherà per conduttricità all'aria ambiente, parte ne rimarrà in esso primo strato, e parte infine passerà nel secondo. Dicasi lo stesso del calorico del secondo strato, del qual calore solo una parte passerà al terzo, e così via via; onde apparisce che la temperatura d'un corpo, quantunque conduttore, deve andare rapidamente decrescendo secondo che le parti si discostano dalla sorgente. Allorquando la somma delle perdite di calore, che le varie parti del corpo subiscono per irraggiamento e per la comunicazione fatta all'aria, eguaglia l'acquisto di calore che riceve dalla sorgente il primo strato, la temperatura delle varie parti deve rimanere stazionaria. La legge, secondo cui decresce la temperatura delle diverse parti del corpo, è stata determinata da Biot con esperimenti fatti su verghe metalliche. Prese egli una sbarra di metallo ed avendo praticate in essa ad eguali distanze delle cavità, empì ciascuna di queste di mercurio, nel quale faceva pescare il serbatoio d'un termometro, in maniera che le distanze dei singoli termometri dalla sorgente costante calorifera, a cui espose l'estremo della sbarra, seguivano una progressione crescente per differenza. Giunta la temperatura ad essere stazionaria, osservò con altri termometri la temperatura dell'atmosfera nei varii punti in cui si trovavano i primi. Sottrasse quindi alla temperatura indicata da ciascuno dei termometri annessi alla sbarra quella relativa all'atmosfera ed espressa dal termometro vicino, e vide che i residui denotanti il calorico repente seguono una progressione per quoto decrescente. Lo stesso Biot trovò per il ferro, che posta una verga di questo metallo lunga 11 decimetri e mezzo con un estremo a contatto dello stesso metallo liquefatto, resa dopo alcune ore stazionaria la temperatura, il calorico non era affatto giunto a riscaldare l'altro estremo, e calcolò che per fare riscaldare di un grado una sbarra di ferro lunga due metri, converrebbe esporre l'altro estremo ad una temperatura di 31500°. Si noti che molte sostanze fanno eccezione all'esposta legge di Biot.

685. Metodo per misurare la conduttricità dei solidi. — Ingenihouz e Despretz hanno determinata la conduttricità dei solidi con metodi quasi consimili. Si formino con varie sostanze piccoli parallelepipedi tutti eguali fra loro e tutti tinti in nero, affinchè il calorico perduto per irraggiamento sia presso a poco eguale in tutti, come vedrassi in seguito (703). Posta in una cassetta di latta dell'acqua, si mantenga questa costantemente al punto d'ebollizione; e ad una parete di detto recipiente si metta a contatto un

estremo di ciascun parallelepipedo, in modo che questi estremi vengano tutti a trovarsi ad una medesima temperatura. Quando questa siasi resa stazionaria nei singoli parallelepipedi, con un termometro, si osservi in qual punto di ciascuno di essi si trovi un dato grado di calore, ad esempio 40°. Quanto più un tal punto in un parallelepipedo è lontano dalla cassetta, tanto maggiore deve dirsi la conduttricità della sostanza, di cui quello è formato. Con questo metodo Despretz ha conosciuto, che i conduttori migliori sono i metalli; mediocri sono il marmo, la porcellana, la terra da fornelli, e cattivi conduttori sono i vetri, le pietre, lo zolfo, i legni, i carboni, le ceneri, la lava, la paglia, i corpi degli animali, le sostanze spugnose contenenti aria stagnante, le penne, la lana, i capelli, la seta, il cotone in fiocco ed altri.

686. Influenza della forma del corpo sulla sua conduttricità. — Anche la forma del corpo influisce sulla sua conduttricità, poichè il corpo viene ad essere tanto meno conduttore, quanto maggiore è la sua superficie in confronto della massa; e la ragione è, che quanto è più estesa la sua superficie, tanto maggiore è il numero dei punti, che perdono calore per irraggiamento, onde una parte tanto più piccola ne rimane per propagarsi da strato in strato. Parimente se un corpo buon conduttore viene ridotto in polvere, perde la conduttricità, perchè il cumulo di polvere contiene molti interstizii pieni d'aria, la quale, come vedremo (691), è pessima conduttrice. Anche le pelliccie sono pessime conduttrici a motivo dell'aria, che è stagnante tra i peli.

687. Proprietà delle reti metalliche. — Dalla conduttricità dei metalli dipendono i seguenti fenomeni. Sopra ad una lastra di rame si distenda una carta sottile, e su questa si ponga un carbone acceso: la carta non brucerà se non dopo lungo tempo, ossia quando siasi molto infocato il rame. Avviene tale fenomeno da che il calorico acquistato dalla carta le viene tolto dal rame, il quale per la sua buona conduttricità lo fa passare a tutta la sua massa, e per ciò la carta non può giungere alla temperatura necessaria per la combustione. Per la medesima ragione si può far liquefare una palla di piombo incartocciata ed esposta alla fiamma d'una candela, senza che la carta, che l'involge, si bruci, purchè però la carta sia a perfetto contatto colla palla. Dalla medesima conduttricità dei metalli dipende la proprietà delle reti metalliche d'estinguere la fiamma. Se si colloca orizzontalmente una di queste reti attraverso della fiamma d'una candela, la parte della fiamma, che passa per le maglie, subito si estingue, e solamente splende la parte rimasta al disotto della rete. Eccone la causa. Perchè un gas possa ardere deve essere portato ad altissima temperatura: ora il gas che attraversa la rete, è raffreddato dai fili metallici, che a motivo della loro conduttricità gli rubano molto calore: per il che cessa la combustione del gas. Il fenomeno succede meglio colla rete di ottone che con quella di ferro, meglio colle fitte che colle rade, perchè il calorico sottratto in un dato tempo dal metallo alla fiamma è tanto più considerevole, quanto maggiori sono la massa e la conduttricità del metallo.

688. Lanterna di sicurezza. — Della esposta proprietà

delle reti metalliche Davy ha fatta un'utile applicazione. Nelle miniere di carbon fossile spesso si sprigionano grandi masse di gas carburo d'idrogeno mescolate coll'aria, le quali poste a contatto delle lampade, che illuminano l'interno delle miniere, si accendono e detonano, arrecando la morte ai miseri operai. A prevenire tali funesti accidenti, Davy ideò la *lanterna di sicurezza*, la quale ha la forma d'un cilindro, o d'una specie di gabbia cilindrica fatta di rete metallica, con cui si circonda la fiaccola. La gabbia è superiormente chiusa da due o tre coperchi pure di rete metallica disposti parallelamente al piano della lampada. Comunemente la rete è formata di fili di ferro o di rame in modo che ogni centimetro quadrato comprenda 10 maglie, avendo il filo un diametro di millimetri 0,63 almeno. La detta lanterna è stata migliorata da Combes, il quale, onde ottenere maggior luce, ha sostituito un tubo di vetro a quella parte di rete, che trovasi lateralmente e vicina alla fiamma. Entrando colla lanterna accesa in una massa di gas infiammabile, il miscuglio gasoso, che s'introduce in essa, se si venisse ad accendere, non potrebbe propagarsi così infiammato attraverso alla rete e produrre la detonazione del gas della miniera.

689. Conduttricità dei liquidi. — I liquidi conducono tanto poco il calorico, che molti fisici, tra i quali è da noverarsi Rumford, hanno negata ad essi ogni conduttricità. Si è però dimostrato ciò esser falso. In verità Nichelson e Pictet hanno fatto vedere, che riscaldando un liquido nella sua superficie superiore, s'innalza alquanto la temperatura d'un termometro collocato verso il fondo, quantunque il calorico non siasi potuto propagare per le pareti del recipiente fatto di materia cattiva conduttrice. Ad impedire più perfettamente tale propagazione del calore per mezzo delle pareti, Murray si è servito per tali esperimenti d'un vaso fatto di ghiaccio.

690. Moto idrostatico. — Non ostante la cattiva conduttricità dei liquidi se si sottopone il fuoco al vaso, che li contiene, tosto questi si riscaldano per il *moto idrostatico*, di cui abbiamo altrove (535) fatto cenno. Il calorico cioè va ad investire lo strato liquido, che tocca il fondo, il quale strato, dilatandosi per il calore ricevuto, diviene più leggero, onde si solleva, cedendo il luogo allo strato più freddo e perciò più pesante, il quale pure, riscaldandosi, si solleva e cede il posto ad un terzo strato, e così di seguito; in guisa che dopo un breve tempo tutta la massa si è riscaldata. Le correnti ascendenti e discendenti, che costituiscono il moto idrostatico, sono tanto più veloci, quanto più cresce la temperatura del liquido.

691. Conduttricità dei gas. — I corpi gasosi sono ancora meno conduttori dei liquidi, ed è per ciò, che un corpo caldo si raffredda prima, se sia immerso in un liquido, di quello che se trovisi circondato da un gas. Siccome però meglio succede il moto idrostatico in un gas, che in un liquido, perchè quello ha le molecole più mobili, così avviene che più facilmente d'un liquido si riscaldi un gas, mediante una sottoposta sorgente calorifica. Rumford, per misurare la conduttricità dei varii gas, adoperava termometri, i cui bulbi erano racchiusi in sfere cave di vetro piene

di gas diversi. I tubi così disposti erano raffreddati coll'immergerli nell'acqua proveniente dalla fusione della neve, e poscia erano tuffati nell'acqua bollente: si osservava quindi il tempo impiegato da ciascun termometro a riscaldarsi fino a 100°. Credeva Rumford, che tal tempo fosse nella ragione inversa del potere conduttore del gas interposto tra il bulbo del termometro e le pareti della sfera cava. I poteri conduttori però così calcolati non si possono ritenere del tutto certi, perchè entro alle sfere cave poteva aver luogo il moto idrostatico.

692. Applicazione della cattiva conduttricità dei gas. — Quando ci vogliamo servire della cattiva conduttricità dei gas per impedire il passaggio del calore, deve farsi in modo, che non abbia luogo il moto idrostatico, il che si ottiene col porre la sorgente calorifera al di sopra, o col racchiudere il gas in spazii molto angusti, o coll'ingombrare questi con piccoli corpiccioli, come fili, bacchette, ecc. Questa è la ragione, per cui i vetri doppii e le doppie porte impediscono meglio il passaggio del calorico, quando si trovano vicini fra loro. Si comprende ora anche il perchè due coperte o due vesti tengano più caldo, che una sola, quantunque della stessa sostanza e grossa come l'assieme di quelle due, essendone causa lo strato d'aria frapposto, che per l'angustia dello spazio non può concepire il moto idrostatico.

CAPO XX.

LEGGI DELL'IRRAGGIAMENTO DEL CALORE

693. *Prove dell'irraggiamento del calore* — 694. *Propagazione rettilinea del calore* — 695. *Intensità del calore a varie distanze* — 696. *Influenza dell'inclinazione sul potere riscaldante dei raggi calorifici.*

693. Prove dell'irraggiamento del calore. — Fu Scheele, che per primo s'accorse, che il calorico si propaga ancora per irraggiamento. Trovandosi egli casualmente avanti alla bocca di un forno, sentì notevolmente riscaldarsi i bottoni metallici del suo abito, senza che in egual grado venisse riscaldata l'aria interposta. Un tal modo di propagazione si prova col porre un corpo caldo e sospeso ad un filo coibente sotto alla campana della macchina pneumatica: estratta l'aria, il calore non può più passare per conduttricità dal corpo alle pareti della campana; nondimeno quello si raffredda e si riscaldano queste; onde si deve conchiudere, che il passaggio del calorico si è effettuato per irraggiamento.

694. Propagazione rettilinea del calorico. — Nel vuoto od in un mezzo d'eguale densità il calorico si propaga in linea retta. Per accertarci di ciò basta di porre dirimpetto ai raggi so-

lari, che penetrano in una camera oscura, molti diaframmi paralleli fra di loro, ciascuno dei quali abbia un foro circolare. Se tutti questi fori si corrispondano in una linea retta coincidente colla direzione dei raggi solari, e si ponga una mano di fronte all'ultimo foro, si avrà in questa una sensazione di caldo; ma ciò non avrà più luogo, quando uno dei diaframmi venga spostato in modo, che i fori più non coincidano con una linea retta.

695. Intensità del calore a varie distanze. — Un corpo riscaldato raggia calorico in tutte le direzioni; onde convien dire, che i raggi di calore sono fra di loro divergenti. Andando quindi il calorico a diffondersi in spazii sferici concentrici sempre più grandi, la sua intensità deve decrescere secondo il quadrato delle distanze dalla sorgente calorifica. Questa legge si può verificare sperimentalmente. Si collochi un termometro ad una determinata distanza da una sorgente costante di calore, e poi si porti ad una distanza doppia, tripla ecc.: si vedrà, che la temperatura del termometro nel secondo punto è quattro volte minore di quella, che si aveva nella prima posizione, e che alla tripla distanza è nove volte minore ecc.

696. Influenza dell'inclinazione sul potere riscaldante dei raggi. — Il potere riscaldante dei raggi è tanto minore, quanto più obliqua è la direzione di essi relativamente alla superficie irradiante. Ciò si prova nel seguente modo. Si fissa orizzontalmente con un sostegno un tubo di cartone ACDB (fig. 327) annerito nell'interno e lungo circa un mezzo metro. Ad una delle sue estremità si colloca un bulbo d'un termometro differenziale (504), ed all'altra un cubo di latta pieno di acqua a 100°, e disposto in modo che una delle sue facce sia perpendicolare all'asse del tubo. Tutti i raggi di calore, che, entrando nel tubo, sono inclinati all'asse di questo, battono nelle pareti annerite, rimangono assorbiti, e per ciò non possono giungere al termometro: quindi è che l'aumento di temperatura di questo deve solo attribuirsi ai raggi paralleli all'asse. Rappresenti ab la superficie raggiante del vaso: i raggi, che giungono al termometro, saranno perpendicolari alla detta superficie, e verranno emanati dai punti compresi tra m ed n. Si noti l'aumento di temperatura, quando questa sia addivenuta stazionaria. Dopo ciò s'inclina la faccia ab col farla rotare intorno ad un asse orizzontale, che passi per il punto medio o, in modo che essa faccia prenda la posizione $a'b'$. I raggi, che attraversando il tubo giungono al termometro, saranno come prima paralleli all'asse del tubo, ma obliqui alla superficie $a'b'$. Se la parte om si è allontanata dal termometro, la parte on si è di altrettanto avvicinata a questo, e per ciò da tal canto non deve rimanere alterata l'intensità del calorico, che perviene al termometro. Siccome però in questa nuova disposizione i punti irradianti, racchiusi tra $m'n'$, sono in maggior numero di quelli di prima, compresi tra m, n; per il maggior numero dei raggi, che pervengono al termometro, dovrebbe crescere la temperatura di questo tanto più, quanto più cresce l'obliquità della faccia radiante, ossia quanto più cresce l'obliquità dei raggi relativamente alla detta superficie. Osservando però il termometro, si vede, che la sua temperatura

rimane inalterata; onde si deve dire, che i singoli raggi coll'aumentarsi dell'indicata obliquità diminuiscono di potere riscaldante.

Risulta poi dall'esposto, che il detto potere deve essere nella ragione inversa del numero dei punti, che nelle due diverse posizioni sono di fronte all'apertura del tubo; per il che, se si chiami con I il potere riscaldante dei raggi perpendicolari alla superficie mn, e con I' quello dei raggi provenienti dalla superficie obliqua $m'n'$, potremo scrivere $m'o : mo = I : I'$: ma per il triangolo rettangolo $m'om$ si ha ancora $m'o : mo = 1 : \text{sen}\, x$; dunque sarà pure $I : I' = 1 : \text{sen}\, x$, e quindi $I' = I \times \text{sen}\, x$. Si noti, che l'angolo x esprime l'inclinazione dei raggi colla superficie irradiante; onde si conchiuderà, che il potere calefaciente dei raggi è proporzionale al seno dell'angolo, che la loro direzione fa colla superficie del corpo da cui emanano.

L'intensità del potere riscaldante d'un fascio di raggi paralleli è ancora proporzionale al seno dell'angolo d'inclinazione, che la loro direzione fa colla superficie, sulla quale essi raggi si rappigliano; cosicchè massimo è il potere calefaciente di esso fascio, quando cade perpendicolarmente sulla detta superficie. Difatti, se A (fig. 328) rappresenti il fascio dei raggi paralleli, si vede, che, raccolto in un piano ad esso normale, va a riscaldarne la parte mn; ma che se il piano sia obliquo al fascio, la parte $m'n'$ riscaldata di essa superficie sarà maggiore di mn, crescendo col crescere dell'obliquità dei raggi, e per ciò l'intensità del calore sarà minore nel secondo caso, che nel primo. Che poi la detta intensità sia proporzionale al seno dell'angolo, che i raggi fanno colla superficie, si dimostra col medesimo calcolo, che abbiamo poco fa eseguito.

CAPO XXI.

POTERE EMISSIVO, RIFLETTENTE ED ASSORBENTE DEI CORPI PEL CALORICO

697. *Potere emissivo* — 698. *Leggi della riflessione del calorico* — 699. *Potere riflettente dei corpi* — 700. *Diffusione del calorico* — 701. *Potere assorbente* — 702. *Misura del medesimo* — 703. *Cause che influiscono sul potere assorbente* — 704. *Applicazioni.*

697. Potere emissivo. — La quantità del calorico raggiato da un corpo in un dato tempo da più cause dipende: cioè 1ª dalla temperatura del corpo, 2ª dalla sua natura, 3ª da alcune modificazioni indotte nella sua superficie. Che la quantità del calorico raggiato debba dipendere dalla temperatura del corpo, da cui è emesso, è cosa ben chiara, poichè tendendo il calorico all'equilibrio, quanto maggiore è la sua tensione, tanto maggiore deve essere la quantità di calorico raggiato. Che poi il *potere emissivo* non

sia eguale in tutti i corpi, ma questi raggino in pari circostanze chi più, chi meno calore, si prova cogli esperimenti di Leslié e Rumford. Si abbia un cubo di latta, le cui quattro facce laterali si possano coprire con lastre di varie sostanze, ed empiasi questo cubo d'acqua, la quale durante l'esperimento si mantenga al punto d'ebollizione. Si abbia pure uno specchio concavo, che, come vedremo in ottica (748), ha la proprietà di riflettere i raggi, dirigendoli verso un medesimo punto, che dicesi *foco*, nel qual punto deve collocarsi il bulbo d'un termometro differenziale (503). Verso questo specchio si volgano successivamente le facce del cubo coperte di diverse sostanze, e per ognuna si osservi la temperatura del termometro, che sarà tanto maggiore, quanto più grande è il potere raggiante della sostanza, che copre la faccia del cubo allora rivolta allo specchio. Prevostaye e Desains, avendo sostituito al termometro differenziale l'apparato termo-elettrico del Melloni (459), hanno compilata la seguente tavola dei poteri emissivi di varie sostanze.

Nero di fumo....	1,	Argento bruciato.	0,023,	Oro ridotto in foglie	0,043
Argento naturale.	0,03,	Platino brunito...	0,092,	Rame in lamine...	0,05.
Argento depositato chimicamente...	0,053,	Platino laminato.	0,106,		

Quest'altra tavola dà il potere emissivo di altri corpi sperimentati da Leslié:

Nero di fumo	1,	Vetro	0,90
Carta	0,98,	Inchiostro di Cina . .	0,85
Ceralacca	0,95,	Ghiaccio.	0,85
Minio	0,80,	Piombo levigato . . .	0,15
Piombaggine	0,75,	Ferro levigato	0,15.
Piombo appannato . .	0,45,		

Abbiamo detto, che in terzo luogo il calore raggiato in un dato tempo dipende dalle modificazioni indotte nella superficie del corpo raggiante. Vaglia il vero; una superficie metallica levigata col laminatoio o col martello raggia meno calorico, di quello che emette, allorchè la sua superficie è solcata con una lima o collo smeriglio, perchè in questo secondo caso rimangono rimosse alcune parti dello strato esterno, e si scopre il metallo sottostante; onde la superficie raggiante rimane aumentata. I varii colori pure influiscono a fare, che la medesima sostanza raggi più o meno calore. Tinte difatti con diversi colori le facce del cubo disopra mentovato, si è veduto che il nero raggia più calore degli altri, e meno di tutti il bianco.

698. Leggi della riflessione del calore. — Il calorico raggiato da un corpo, battendo in un altro, o penetra in questo, o è respinto in dietro, e la parte, che rimbalza, o è *riflessa* o è *diffusa*. Dicesi, che il calore *si riflette*, quando nel tornare in dietro obbedisce a due determinate leggi, che sono quelle stesse, con cui riflettesi il moto ondulatorio (79), cioè 1ª il raggio incidente ed il riflesso giacciono in un medesimo piano perpendicolare alla superficie riflettente: 2ª l'angolo d'incidenza e di riflessione sono eguali. Melloni

ha verificate queste leggi col suo apparato termo-elettrico. Sopra ad una tavola (fig. 329) sorge un sostegno verticale M, che nel suo estremo superiore porta un semicerchio graduato orizzontale D. Nella parte inferiore del medesimo sostegno avvi un'alidada mobile B, sulla quale è fissata la pila termo-elettrica P. Nel centro del semicerchio D sorge una pinzetta verticale, che può girare attorno a sè, ed a cui può fissarsi una lastra verticale, ad esempio una lastra polimentata d'argento N. Facendo girare questa lamina, girasi ancora un indice perpendicolare ad essa, e che nota i gradi di rotazione sulle divisioni del semicerchio. Una lampada L invia i raggi luminosi e calorifici, che attraversando un foro praticato sul diaframma E, vengono a cadere in direzione orizzontale sullo specchio N. Si muova l'alidada B in modo, che i raggi luminosi riflessi dallo specchio vadano a battere su di una faccia della pila: tosto si vedrà deviare l'ago del galvanometro, mentre non vi è un notevole spostamento del detto ago in tutte le altre posizioni della pila, in cui i raggi luminosi non battono in essa. Si deve pertanto conchiudere, che i raggi calorifici si riflettono come i luminosi, i quali, come si dirà in ottica (743), si riflettono precisamente secondo le due riferite leggi. Anche l'indice della lamina N fa conoscere, che gli angoli d'incidenza e di riflessione sono eguali.

699. Potere riflettente dei corpi. — Si chiama *potere riflettente* d'un corpo il rapporto, che passa tra la quantità di calore riflessa da esso e quella che sul medesimo cade. Tal potere si determina, operando così. Nell'ora descritto apparato, dopo di aver tolto lo specchio, si pongano l'alidada B e la pila P in modo che siano nella medesima direzione dei raggi incidenti emessi dalla lampada, e si noti la deviazione dell'ago calamitato, che indicherà l'intensità del calorico incidente. Si riponga di poi lo specchio, e si dispongano l'alidada e la pila in guisa, che su quest'ultima vadano a battere i raggi riflessi dallo specchio. L'ago si sposterà meno di prima, e dalla quantità dello spostamento sarà fatta nota l'intensità del calore riflesso. Dividendo quest'ultima per la prima, il quoto esprimerà il potere riflettente della sostanza di cui è formato lo specchio.

Prevostaye e Desains hanno misurato con tal metodo il potere riflettente dei metalli polimentati relativamente al calore emanato dalla lampada di Locatelli e dal sole sotto un angolo d'incidenza di 50°, ed hanno trovato per la medesima sostanza risultati diversi, come apparisce dalla seguente tavola.

Sostanze	Lampada di Locatelli	Sole
Argento	0,97	0,92
Oro	0,96	0,82
Acciaro	0,83	0,60
Platino	0,80	0,60.

I medesimi fisici hanno osservato, che il potere riflettente del vetro diminuisce col diminuire dell'angolo d'incidenza, essendo questo potere 0,551; 0,116; 0,05 relativamente agli angoli d'incidenza 80°, 50°, 20°.

700. Diffusione del calorico. — I raggi calorifici, che battendo in un corpo sono rimbalzati indietro, non sono tutti riflessi, ma una parte di essi è diffusa, cioè questa parte di raggi non obbedisce alle due leggi della riflessione, ma è dispersa in tutti i sensi, come se il corpo, su cui cade, divenisse una sorgente calorifera. La diffusione del calorico così fu dimostrata da Herschel. Un termometro sensibile fu posto ad una piccola distanza da una superficie scabrosa, sulla quale battevano i raggi solari: si vide che la temperatura del termometro si alzava, ancorchè questo non si trovasse nella via, che doveva esser percorsa dai raggi riflessi regolarmente.

La diffusione ha per causa la forma irregolare della superficie del corpo, che si può considerare come composta di un numero considerevole di piccoli specchi inegualmente inclinati ai raggi incidenti, i quali per conseguenza sono rimandati in tutti i sensi, quantunque ciascuno relativamente al proprio specchietto obbedisca alle due leggi della riflessione.

Prevostaye e Desains fecero cadere un fascio di raggi solari normalmente sopra ad una lastra coperta di biacca, diressero l'asse della pila termo-elettrica sulla superficie così rischiarata, e conobbero, che la quantità del calore diffuso è tanto più grande, quanto più piccolo è l'angolo formato dall'asse della pila e dalla normale.

701. Potere assorbente dei corpi. — Il calorico raggiato, che, battendo in un corpo, non è respinto indietro, s'interna nello stesso corpo, parte rimane entro questo e ne aumenta la temperatura, la qual parte dicesi calore *assorbito;* parte poi attraversa il corpo senza alterarne la temperatura, ed escendo dal medesimo, prosegue ad essere raggiante: questo calore dicesi *trasmesso*. Riserbandoci di parlare del *potere trasmittente* nel futuro capitolo, tratteremo ora del *potere assorbente* dei corpi.

702. Misura del potere assorbente dei corpi. — È chiaro, che un corpo dotato d'un gran potere emittente facilmente deve raffreddarsi, e che quel corpo il quale gode d'un gran potere assorbente più facilmente può riscaldarsi. Ora l'esperienza insegna, che i corpi, i quali più presto si scaldano, sono quelli stessi, che prima si raffreddano; dal che si può dedurre, che il potere assorbente d'un corpo è proporzionale al suo potere emissivo. Ciò si conferma col seguente esperimento di Petit e Dulong. In un grande pallone di vetro, mantenuto a zero gradi nel ghiaccio, e le cui pareti siano annerite nell'interno, si ponga dentro un termometro scaldato ad una certa temperatura, ad esempio di 15^0. Indi fatto il vuoto nel pallone mediante una tubulatura, che lo mette in comunicazione colla macchina pneumatica, si lasci raffreddare lentamente il termometro, e si conti il tempo, che impiega a discendere da 10^0 a 5^0. Si ricomincia poi l'esperimento, ma in senso contrario, portando cioè il pallone a 15^0 ed il termometro a zero, e si misura il tempo, che quest'ultimo impiega a salire da 5^0 a 10^0: si vedrà che questo tempo è esattamente eguale a quello, che aveva occupato nel discendere da 10^0 a 5^0. Per il che si può conchiudere, che per un medesimo corpo e per una stessa differenza tra la sua temperatura e quella dei corpi circonvicini, il potere emissivo è eguale all'assorbente,

poichè le quantità di calorico emesso ed assorbito in tempi eguali sono eguali (601).

703. Cause che influiscono sul potere assorbente. — Discende dal detto, che quelle cause, le quali modificano il potere emissivo, modificar debbono pure l'assorbente. Così, ad esempio, più sarà levigata la superficie del corpo, meno calore sarà assorbito da questo: il colore pure dovrà influire sul potere assorbente, ed il nero assorbirà più calorico, che gli altri colori; il bianco meno di tutti. Ciò si può verificare col prendere una lamina di metallo, una delle cui facce sia coperta di sottile strato di cera, mentre l'altra è in parte levigata, in parte scabrosa, ovvero è tinta a bande di vario colore. Rivolta quest'ultima faccia ad una sorgente di calore raggiante, la cera si liquefà prima nella parte corrispondente alla superficie scabrosa, che in quella posta dietro alla superficie levigata; prima dietro alla parte nera, che alla bianca.

704. Applicazioni. — Affinchè le stufe da camera ed i tubi, che conducono aria calda attraverso degli appartamenti, li scaldino maggiormente, conviene che non siano polimentati, ma piuttosto verniciati con nero fumo nelle loro esterne superficie. All'opposto volendosi conservare caldi più lungamente gli oggetti dentro vasi metallici, questi debbono essere bene polimentati e bianchi all'esterno, e lo stesso dicasi dei tubi destinati a trasmettere l'acqua o vapore caldi in distanza. In quanto al colore delle vesti diciamo, che nell'inverno è bene usare vesti bianche, perchè queste, raggiando poco calorico, impediscono la partenza del calore animale; nell'estate poi se ci troviamo al sole, sarà bene coprirci di vesti bianche, le quali avendo poco potere assorbente, non fanno entrare i raggi solari; ma se nell'estate siamo all'ombra, ci sarà utile usare le vesti nere, che raggiano molto calore.

CAPO XXII.

TRASMISSIONE DEL CALORE RAGGIANTE

705. Studi del Melloni. — Prevost a Ginevra e Delaroche in Francia negli anni 1811, 1812 fecero varie scoperte intorno al potere trasmittente dei corpi. Fu però Melloni, che nel 1832 dette una teoria completa sul detto potere, servendosi del suo apparato termoelettrico (459). Avanti alla pila termo-elettrica pose un sostegno, il quale doveva reggere la sostanza, il cui potere trasmittente voleva studiare. Un altro sostegno collocato al di là del precedente reg-

geva una lastra di metallo avente un foro posto di fronte al corpo assoggettato all'esperimento, e di dimensioni eguali alla sezione della pila. Il detto foro era munito d'un coperchio, col quale potesse celeremente esser chiuso ed aperto. Dietro a questo diaframma si poneva la sorgente calorifica, i cui raggi per tale disposizione non potevano giungere alla pila senza aver prima attraversato il corpo, di cui si ha da misurare il potere trasmittente. Melloni con iterati esperimenti rilevò, che la quantità di calorico trasmesso dipende da molte cause, cioè 1ª dalla natura del corpo trasmittente, 2ª dal grado di levigatezza di questo, 3ª dalla sua grossezza, 4ª dal numero delle lamine, che il calorico attraversa, 5ª dalla natura delle lamine precedentemente dal calore attraversate, 6ª dalla natura della sorgente calorifica.

706. Sostanze diatermiche ed adiatermiche. — Primieramente dalla natura della sostanza, che il calorico attraversa, dipende la quantità dei raggi trasmessi. Difatti non tutti i corpi si lasciano con eguale facilità attraversare dal calore; ma come relativamente alla luce alcuni corpi sono opachi ed altri trasparenti (733), così le sostanze altre presentano al calorico raggiante un più difficile, altre un più facile passaggio. Il Melloni chiamò *diatermici* i corpi, che hanno molto potere trasmittente, ed *adiatermici* quelli, che poco o nulla godono di questa facoltà. Non si creda poi che i corpi diatermici siano in pari tempo trasparenti, e gli adiatermici opachi, mentre molte sostanze, come il cristallo di monte affumicato, sono opache e diatermiche, e molte altre, come l'allume ed il solfato di calce, sono trasparenti ed adiatermiche.

707. Influenza della levigatezza della superficie. — La seconda causa, che influisce sulla diatermicità d'un corpo è la levigatezza della sua superficie, poichè col crescere della levigatezza cresce la diatermicità. Difatti, trovò il Melloni, che le indicazioni del suo apparato variavano da 12° a 5° secondo che si interponevano al passaggio del calore lamine di vetro più o meno levigate.

708. Influenza dell'ertezza delle lamine. — La quantità di calorico, che attraversa una lamina diatermica, decresce col decrescere dell'ertezza della lamina, ma non proporzionatamente, ed al di là d'un certo limite il calore trasmesso rimane costante, ancorchè si seguiti ad aumentare la grossezza della lamina. Melloni constatò questo fatto, sperimentando sopra lamine di vetro bianco, le cui grossezze erano nelle proporzioni dei numeri 1, 2, 3, 4, e trovò, che di 1000 raggi queste lamine ne facevano passare rispettivamente 619, 576, 558, 549, numeri le cui differenze vanno sempre più ad impiccolire.

709. Influenza del numero delle lamine. — Il crescere del numero delle lamine, che debbono essere attraversate dai raggi di calore, produce un effetto analogo a quello nato dall'aumento dell'ertezza; cioè col crescere di quel numero si diminuisce la quantità di calorico trasmesso. Anche qui però vi è un confine, oltre al quale i raggi trasmessi non più scemano, ma attraversano le lamine successive senza subire un'ulteriore diminuzione. Si deve qui notare, che parecchie lamine della stessa sostanza sovrapposte intercettano maggior quantità di calorico di quello intercettato da

una lamina sola di un'ertezza eguale alla somma delle grossezze delle prime; come ancora che l'effetto di più lamine di diversa sostanza sovrapposte è indipendente dall'ordine, nel quale esse si succedono.

710. Influenza della natura delle lamine già attraversate. — La quantità di calorico trasmessa da una sostanza dipende ancora dalla natura delle lamine, per le quali i raggi sono precedentemente passati. In vero, i raggi calorifici, che hanno attraversato una o più sostanze diatermiche, subiscono una modificazione, che li rende più o meno adatti ad esser trasmessi da altre sostanze diatermiche. Melloni, avendo prese per sorgenti calorifiche due lampade, una con tubo di vetro e l'altra senza, ha constatato, che il calorico, il quale aveva attraversato il vetro con più facilità passava attraverso di altre sostanze, di quello che faceva il calore della seconda lampada. A questa legge fa eccezione il sal gemma, che sempre trasmette una medesima quantità di raggi su di esso incidenti.

711. Influenza della natura della sorgente. — Finalmente influisce sulla diatermicità la natura della sorgente calorifica; poichè ha veduto Melloni, che, ad eccezione del sal gemma, il qual fa passare ugualmente il calorico da qualunque corpo venga emanato, la proporzione dei raggi trasmessi varia col variare della natura della sorgente, diminuisce col diminuire della temperatura di questa, divenendo nulla quando la sorgente ha la temperatura di 100°.

712. Termocrosi. — Melloni, esaminando gli esposti fatti, e confrontandoli con quelli relativi alla luce, ideò la teoria della *colorazione del calorico*, ossia la *termocrosi*. Ad intender questa è da sapersi, che, come a lungo dirassi in ottica (781), nella luce bianca solare si trovano sette raggi variamente colorati, i quali differiscono fra loro per la varia lunghezza delle ondulazioni dell'etere. Cadendo la luce bianca sopra un corpo, secondo che questo alcuni o tutti o nessun raggio colorato diffonde o riflette, il corpo apparisce o colorato o bianco o nero per riflessione. Che se dei sette raggi colorati od alcuni o tutti o nessuno attraversano il corpo, questo è o colorato o bianco o nero per rifrazione. Ciò posto, devesi ammettere con Melloni, che anche il calorico sia costituito di varii raggi diversi fra loro, come fra di loro diversificano i raggi di luce, e che quindi come vi sono corpi trasparenti ed opachi, così vi siano corpi diatermici ed adiatermici. Battendo poi il calorico sopra un corpo adiatermico, può avvenire, che questo diffonda o rifletta o una sola specie di raggi, o tutte, o nessuna, ed allora quel corpo dicesi *adiatermico termocroico*, od *adiatermico leucotermico*, od *adiatermico melanotermico*, vale a dire corpo o colorato, o bianco, o nero per riflessione riguardo al calore. Che se il calorico raggiante batte su di un corpo diatermico; secondo che farà passare od alcune, o tutte le specie dei raggi, si chiama il corpo *diatermico termocroico* o *diatermico leucotermico*, ossia colorato, o bianco per rifrazione riguardo al calorico. Dopo ciò ognuno può comprendere, come la natura della sorgente calorifera possa influire sulla quantità di calorico trasmesso da una sostanza,

provenendo ciò, da che non tutte le sorgenti calorifere emanano in eguali proporzioni i diversi raggi di calore, cosicchè una può abbondare, un' altra difettare di quei raggi, che possono essere trasmessi da una sostanza diatermica termocroica. Si comprende pure, perchè i raggi che hanno attraversata una lamina termocroica siano capaci di attraversare o no un'altra sostanza, secondo che questa relativamente al calorico è del medesimo colore della prima, o di colore diverso.

713. Applicazione. Le proprietà dei corpi diatermici ed adiatermici furono applicate utilmente a separare la luce ed il calore irradiati simultaneamente da una stessa sorgente. Il sal gemma coperto di nero-fumo arresta completamente la luce, e lascia passare il calorico: al contrario le lamine o le soluzioni di allume arrestano in gran parte il calorico, e lasciano passare la luce. Ciò è di sommo vantaggio nel caso, in cui si debba per mezzo d'appositi apparati illuminare vivamente o coi raggi solari, o colla luce elettrica una parte interna d'un corpo animale, la quale possa esser lesa da un calore troppo intenso.

CAPO XXIII.

NOZIONI DI METEOROLOGIA

714. *Vario riscaldamento del suolo per i raggi solari* — 715. *Condensazione dei medesimi* — 716. *Riscaldamento dell'atmosfera* — 717. *Temperatura media d'un luogo* — 718. *Influenza della latitudine e dell' altezza d' un luogo sul clima* — 719. *Influenza della vicinanza del mare* — 720. *Influenza della vicinanza dei monti* — 721. *Venti* — 722. *Loro velocità* — 723. *Loro cause* — 724. *Brezze di mare e di terra* — 725. *Venti alisei* — 726. *Nubi* — 727. *Nebbia* — 728. *Pioggia* — 729. *Neve* — 730. *Rugiada* — 731. *Brina* — 732. *Grandine.*

714. Vario riscaldamento del suolo per i raggi solari. — Prima di por termine alla Termologia è bene di dare un breve cenno sulle principali meteore e sul clima dei varii luoghi.

I raggi solari, che secondo Povillet perdono la metà d' energia nell' attraversare l' aria atmosferica, hanno un potere riscaldante tanto minore, quanto maggiore è la loro obliquità secondo la legge da noi altrove esposta (696). È per questa ragione, che cocente è la temperatura della zona torrida, media quella delle zone temperate, e minima quella delle glaciali. Il maggior calore, che si prova nell'estate, non solo si deve ripetere dalla maggior durata del giorno, ma molto più da che, avvicinandosi il sole al nostro zenit, meno obliqui cadono i suoi raggi sulla terra. Il massimo caldo del giorno non si prova a mezzodì, quantunque i raggi solari abbiano allora la massima intensità, cadendo meno obliqui ; ma la massima tem-

peratura ha luogo circa due ore dopo, perchè gli acquisti di calore, che si fanno in questo intervallo, minori di quello che succede al mezzodì, con questo si sommano. Dopo un tal tempo, scemandosi sempre più l'energia dei raggi solari, è più la perdita, che fa la terra per irraggiamento, di quello che sia l'acquisto di calore, che riceve dal sole, e perciò la temperatura va decrescendo. Il minimo di caldo poi ha luogo al nascere del sole, perchè quella è l'ora, che più dista dal tramonto, e perchè allora incomincia l'evaporamento, che fa latente gran quantità di calorico.

715. Condensamento dei raggi solari. — I raggi solari si possono condensare con specchi ustorii o con lenti, come si dirà in ottica (747, 772), ovvero col seguente apparato ideato da Saussure. Formò egli una cassa di legno, le cui interne pareti coprì con lamine di sovero tinte di nero-fumo. Il coperchio di detta cassa consisteva in diversi strati di lastre di cristallo collocati parallelamente a piccole distanze fra loro. Esponendo l'apparecchio ai raggi del sole, in modo che questi cadano normalmente sul coperchio, si ottiene dentro alla cassa una temperatura di circa 140°. Eccone la ragione. Essendo elevatissima la temperatura del sole, i suoi raggi facilmente vengono trasmessi dalle lamine di cristallo (711) e quindi assorbiti dalle pareti della cassa. Il calore, venendo di nuovo da queste raggiato, non ha forza di attraversare nuovamente le lastre di vetro, perchè proviene da una debole sorgente; ond'è che dentro alla cassa deve molto aumentarsi la temperatura.

716. Riscaldamento dell'atmosfera. — L'atmosfera, essendo diatermica in sommo grado, non è immediatamente riscaldata dai raggi solari, che l'attraversano, ma riceve calore dalla terra. Si è creduto per molto tempo, che tale riscaldamento avvenisse esclusivamente per modo idrostatico (691), nascendo nel giorno correnti ascendenti d'aria riscaldata per il contatto della superficie terrestre, e succedendo invece nella notte correnti discendenti d'aria fredda. Saigey e poi Espy hanno provato, che il riscaldamento nel detto modo non può avvenire che per piccole altezze. Vaglia il vero, se una massa d'aria riscaldata alla superficie della terra venisse a portarsi nelle alte regioni dell'atmosfera, giunta colassù, rimarrebbe molto meno compressa, si dilaterebbe assai e col dilatarsi farebbe latente molto calorico; in guisa che la sua temperatura verrebbe più bassa di quella dell'aria circonvicina. Parimente una massa d'aria fredda, se dall'alte regioni atmosferiche discendesse alla superficie della terra, verrebbe ad essere maggiormente premuta; onde addensandosi, renderebbe libera una gran quantità di calorico, che la farebbe più calda della stessa superficie terrestre. Deve adunque dirsi, che l'aria nelle alte regioni riceve calorico dalla terra per conduttricità, e che i movimenti verticali cagionati da differenza di temperatura non succedono che per altezze ben limitate.

La temperatura dell'atmosfera decresce coll'altezza, e tal decremento, secondo Saussure è di un grado per ogni aumento d'altezza di 230 metri nell'inverno e di 160 nell'estate per le zone temperate. Ad un'altezza pertanto, che è varia nelle diverse lati-

tudini, la temperatura è di zero gradi anche nei calori estivi: in questo punto corrisponde il limite inferiore delle nevi perpetue.

717. Temperatura media d'un luogo. — Per conoscere la temperatura dell'aria atmosferica di un luogo è necessario esporre il termometro all'ombra, al nord dell'abitazione, in un luogo aperto ove non siano altri fabbricati che possano riflettere i raggi caloriferi su di esso termometro. Osservando ad ogni minuto i gradi di caldo dell'aria, sommate le temperature misurate in una giornata intera, ed infine divisa questa somma per il numero delle fatte osservazioni, si ha un quoto che appellasi *temperatura media diurna.* L'esperienza ha provato che la temperatura media diurna determinata nel modo suddetto è eguale a quella che si ottiene misurando con un termometro a massimo e minimo (504) la più alta e la più bassa temperatura che hanno luogo in quel dato giorno e prendendo la media proporzionale. Sommando assieme tutte le temperature medie dei giorni di un dato mese, e diviso l'aggregato per il numero dei giorni del mese, si ha la *temperatura media mensile*. Divisa per 12 la somma delle medie mensili di un anno, si ottiene la *temperatura media annuale*. In fine il quoto che si ha dividendo la somma delle temperature medie di molti anni per il numero di questi, forma la così detta *temperatura climaterica*, ossia la *temperaturu media d'un luogo*. Per conoscere però la bontà del clima d'un luogo, non basta sapere la sua temperatura media, ma bisogna conoscere anche la massima e minima: imperocchè in un luogo in cui la temperatura media sia, ad esempio, di 15°, può essere che il clima sia dolce, di 10° nell'inverno e di 20° nell'estate, o pure che sia stemperato, di —10° nell'inverno, di 40° nell'estate.

718. Influenza della latitudine e dell'altezza di un luogo sul clima. — La latitudine e l'altezza di un luogo influiscono moltissimo sul suo clima. Difatti abbiamo detto testè, che quanto più ci discostiamo dall'equatore, tanto più ivi cadono obliqui i raggi solari e per conseguenza tanto più bassa è la temperatura. Humboldt, unendo insieme tutti i punti della sfera terrestre, in cui la temperatura media è la stessa, ha tracciate le linee dette *isotermiche*, le quali ha trovato non essere parallele nè all'equatore, nè a sè stesse. Parimente abbiamo detto, che più ci solleviamo in alto, più troviamo abbassata la temperatura dell'atmosfera, e per ciò a parità di circostanze tanto più freddo è il clima d'un luogo, quanto più questo è elevato sul livello del mare.

719. Influenza della vicinanza del mare. — La vicinanza di grandi masse d'acqua, mare, laghi, influisce assai sulla temperatura di un paese. Invero l'azione dei raggi solari non ha luogo egualmente sulle grandi masse d'acqua come sulla terra, perchè, 1° l'evaporamento continuo rende latente una grande quantità di calorico (545); 2° essendo il calorico specifico dell'acqua (603) assai maggiore di quello della terra, si richiede assai più calorico per elevare la temperatura dell'acqua, che per innalzare quella della terra; 3° per il continuo movimento dell'acqua sempre si rinnova lo strato liquido, che ne forma la superficie; onde un medesimo strato non è mai per lungo tempo battuto dai raggi del sole. Pa-

rimente per la grande capacità dell'acqua per il calore poco si raffredda nella notte per l'irraggiamento, tanto più che appena lo strato superficiale comincia a freddarsi si addensa e va in basso. Da ciò nasce che la diversità di temperatura del giorno e della notte, dell'estate e dell'inverno, è assai meno notevole sull'acqua che sulla terra, e per conseguenza meno notevole sarà pure questa diversità sull'aria sovrincombente sulle grandi masse d'acqua, che su quella sovrastante alla terra: dal che risulta, ed è comprovato dall'esperienza, che nei luoghi vicini ai mari minore è la differenza dei massimi e dei minimi di temperatura diurni ed annuali di quella che si verifica nel centro dei continenti.

720. Influenza della vicinanza dei monti. — Anche la vicinanza dei monti influisce sulla temperatura d'un luogo. Difatti se qualche volta una catena di monti può rendere più caldo un paese, riparandolo dal soffio dei venti freddi del nord e col riflettere i raggi solari, per lo più i monti influiscono nel raffreddare una regione, in guisa che a circostanze eguali l'aria è più fredda vicino ai monti che in una regione la quale trovisi ad una medesima altezza ma nel centro d'una pianura. Le nubi che si formano tanto frequentemente sulle alte cime delle montagne, sono una prova dell'influenza che queste hanno di raffreddare l'atmosfera. L'aria raffreddata dalle vette delle montagne addiviene più densa e cade nelle sottoposte valli.

721. Venti. — Nel clima potentemente influiscono i venti, che consistono nel movimento traslatizio d'aria più o meno rapido. Importa molto conoscere la direzione del vento, la quale viene indicata dall'*anemoscopio*, che è formato da una lamina di metallo leggera e mobilissima attorno ad un asse verticale fissato alla sommità d'un edificio. La detta lamina è sempre dal vento spinta in quella parte verso cui esso si dirige. Si dà per lo più all'anemoscopio la forma d'una freccia, la cui penna è spinta verso la parte a cui si dirige il vento; onde la cuspide viene ad indicare quella, dalla quale il vento spira. Il movimento delle nubi indica la direzione del vento nelle alte regioni dell'atmosfera.

722. Velocità dei venti. — La velocità dei venti è variabilissima. Un vento debole percorre da 1 a 5 metri per secondo; un vento forte da 5 a 15; un vento violento da 15 a 30. Un vènto che in un secondo percorre da 30 a 50 metri è un uragano, che abbatte alberi ed edificii. La velocità del vento si misura per mezzo d'un apparato che appellasi *anemometro*, e che consta d'un asse girevole intorno a sè stesso, il quale porta a sè connessa una specie di ruota formata di quattro palette, che hanno all'estremo una calotta sferica. Queste calotte hanno le basi in posizione verticale e tutte rivolte in un medesimo senso, in modo che, qualunque sia la direzione del vento, questo fa girar l'asse sempre in un medesimo verso. L'asse porta annessa una vite perpetua, che mette in moto un sistema di ruote dentate che formano un *contatore dei giri*. Dal numero dei giri effettuati in una unità di tempo si deduce la velocità del vento.

723. Cause dei venti. — Essendo l'atmosfera un elemento tanto mobile ed elastico, molte cause possono turbarne l'equilibrio, gene-

rando i venti. Possono questi nascere da un vuoto prodotto da un'immensa scarica elettrica, o dal disciogliersi in pioggia di un enorme ammasso di nubi. Si noti poi che quantunque istantanea sia la causa del vento, questo può durare alquanto a motivo della mobilità estrema dell'aria, per cui stenta a rimettersi in equilibrio. Una delle cause più generali ed ordinarie dei venti è la differenza di temperatura fra due estensioni vicine della superficie terrestre. Consideriamo due estensioni adiacenti rappresentate dalle loro sezioni (Fig. 330). AB sia terra, BC mare. Indichino AD, CF le altezze delle colonne d'aria sovrincombenti; quando la temperatura delle due regioni è eguale. Se AB si venga a riscaldare, ma non BC, la temperatura dell'aria sovrincombente alla terra si eleva e la colonna ADEB si dilata ed arriva fino a GH. La parte superiore HE, non più sorretta verso EF, si versa in questa parte, e si produce in alto un vento da E verso F. Allora però la colonna EFCB diventa più pesante, e la sua pressione sopra BC addiviene più grande di quella che ha luogo in AB, la quale invece diminuisce, e se noi consideriamo uno strato verticale MB, ci persuaderemo questo essere più premuto da C verso A, che da A verso C, in modo che questo strato deve mettersi in moto producendo un vento, che spira dalla parte fredda alla calda, ossia in senso inverso della corrente superiore. Possiamo produrre artificialmente in piccolo questo duplice vento col chiudere una porta, che metta in comunicazione una camera calda con una fredda. Appressata una fiaccola ad un foro praticato alla sommità della porta, la fiaccola è spinta verso la camera fredda; ma se la fiaccola si appressi ad un altro foro fatto nell'estremità inferiore della porta, essa sarà spinta verso la camera calda.

724. Brezza di mare e brezza di terra. — Si è detto di sopra (719), che nel giorno la terra si riscalda più della superficie del mare, e che nella notte quella si raffredda più di questa. Per ciò è che sulle coste, quando il cielo è puro e calmo, ogni giorno si rinnovano venti in senso contrario. In vero, circa le nove del mattino la temperatura dell'acqua del mare è presso a poco eguale a quella della terra; ma di poi riscaldando il sole più la terra che il mare, incomincia, per la ragione esposta nel paragrafo precedente, la *brezza marina*, cioè un vento fresco che spira dal mare verso terra, mentre nelle superiori regioni atmosferiche ha luogo un vento contrario. Nella sera, raffreddandosi più la terra che il mare, succede il fenomeno contrario, ossia la *brezza di terra*.

725. Venti alisei. — Essendo nelle regioni equatoriali sempre molto più elevata la temperatura, che nelle regioni polari, secondo ciò che abbiamo detto, debbono spirare continui venti procedenti in basso dai poli all'equatore. Se non che la terra unita all'atmosfera gira intorno al proprio asse, e la velocità di rotazione è massima nelle parti equatoriali che percorrono un circolo massimo, e va decrescendo col crescere della latitudine. L'aria adunque, che nel nostro emisfero deve spingersi dal nord verso il sud, e che colla terra pur gira verso l'est, via via che si avanza verso l'equatore, si abbatte in strati d'aria che hanno maggior velocità verso l'est, e per ciò presenta a questi strati una resistenza che tende

a diminuire la loro velocità, producendo come un secondo vento, il quale spiri dall'est. Considerando questi due venti simultanei, uno procedente dal nord e l'altro dall'est, come due forze cospiranti ad angolo (26), comprenderemo che esse aver debbono una risultante, la quale corrisponde ad un unico vento, che spira dal nord-est. Nell'emisfero australe, per le medesime ragioni, spira costantemente un vento di sud-est. Questi due venti, che diconsi *alisei*, incontrandosi all'equatore, hanno per risultante un unico vento, che nasce dall'est. È cosa ben chiara che nelle parti superiori dell'atmosfera vi debbono essere correnti opposte formate dall'aria, che dall'equatore si porta verso i poli. Sono incalcolabili i vantaggi arrecati da tali venti costanti. Per essi mescolandosi l'aria dei poli con quella dell'equatore, vanno un poco a mitigarsi il freddo polare e l'eccessivo calore equatoriale: l'aria viziata per la respirazione di tanti animali che popolano le regioni temperate, viene condotta alla zona torrida, ove il soverchio gas acido carbonico è assorbito da quella energica vegetazione, la quale ridà fuori l'ossigeno libero, che poi è ricondotto da noi ad alimentare la respirazione.

726. Nubi. — La salubrità del clima d'un luogo dipende ancora dalla qualità e numero delle meteore acquee che ivi avvengono. Dai mari, dai laghi, dai fiumi si sollevano continuamente per evaporazione (542) immense quantità di vapore acqueo. Ancora quando il cielo è limpido e sereno sta unito all'aria atmosferica molto vapore acqueo (587), ma allo stato invisibile. Se però una massa d'aria carica di vapore venga a raffreddarsi o venga a subire una pressione maggiore, il vapore si addensa, e per questo addensamento si fa visibile, rappigliandosi secondo alcuni in tante vescichette formate da una pellicola d'acqua e piene d'aria, o secondo altri in tanti globettini massicci d'acqua. Un ammasso più o meno denso di questi globetti forma ciò che dicesi *nube*.

L'altezza delle nubi è assai varia ed in media è di 1200 a 1400 metri nell'inverno, di 3000 a 4000 nell'estate e spesso assai maggiore. Varia pure è l'ertezza di esse; e la nube attraversata da Bixio e Barral in un'ascensione aerostatica aveva un'ertezza di 3 chilometri, e la sua superficie superiore trovavasi elevata dal suolo per metri 4200.

Ma come avviene, che le nubi formate in gran parte d'acqua liquida, tanto più pesante dell'aria, nuotano in questa? A spiegare la sospensione delle nubi nell'atmosfera, Halley propose per il primo l'ipotesi, che il vapore fosse vescicolare, e ritenendo che l'aria racchiusa nelle vescichette fosse più calda dell'aria ambiente, ammise che ciascuna di queste dovesse considerarsi come un piccolo globo aerostatico. Questa teoria sostenuta da molti e combattuta da Desagulier e da Monge, presentemente è abbandonata per il seguente esperimento. Chiuso in un estremo un tubo di cristallo lungo un mezzo metro, si empia d'acqua, e poi si capovolti. La pressione esercitata dall'aria contro la parte aperta e rivolta in basso impedirà il versamento del liquido (166). Sulla superficie inferiore dell'acqua si faccia giungere il vapore acqueo visibile, che emana da una sottoposta pentola. Se il vapore fosse costituito da vescichette,

queste, frangendosi nel contatto coll'acqua, dovrebbero render libera l'aria che si solleverebbe nel tubo sotto forma di bollicine. Siccome queste non si formano, fa d'uopo conchiudere, il vapore visibile esser costituito di goccioline massiccie. La sospensione delle nubi nell'aria viene attribuita 1° a correnti ascendenti d'aria; 2° al dileguarsi della parte inferiore della nube nell'atto che discende, riformandosi nella parte superiore; 3° da che, secondo Fresnel, i raggi solari, penetrando nella nube e riflettendosi nelle goccioline, più volte attraversano l'aria a queste interposta, rendendola in tal modo più leggiera dell'aria esterna.

727. Nebbia. — La nebbia è una nube, che va radendo il suolo, è formata cioè dal vapore acqueo che è passato alla stato visibile. Dopo una notte serena, mescolandosi l'aria fredda sovrincombente alla terra colla meno fredda ma umida che trovasi sopra all'acqua, si produce la nebbia, che spesso nella mattina si vede vicino ai laghi ed ai fiumi. Allorchè la terra è umida e più calda dell'atmosfera, si forma pure la nebbia, perchè il suolo tramanda molto vapore e l'aria sovrastante ben presto si satura. Consimile è la ragione per cui visibile è il nostro alito nell'inverno. Avviene in terzo luogo la nebbia, allorchè il suolo è più freddo degli strati d'aria che gli stanno vicini, perchè, abbassandosi la temperatura dell'aria di strato in strato, dal basso in alto, il vapore contenuto dai suddetti strati passa allo stato visibile. Quando ciò avvenga, sembra che la nebbia sorga dalla terra. Qualche volta però la nebbia cala dall'alto, ed allora è formata da una nube che discende, per avere un peso specifico maggiore di quello dell'aria.

728. Pioggia. — Formate le nubi, se queste subiscono per un decremento di temperatura, o per un aumento di pressione, un ulteriore addensamento, il vapore si rappiglia in grosse goccie d'acqua, le quali non potendo essere sorrette dall'atmosfera, cadono e formano la pioggia. Per determinare la quantità di pioggia, che cade in un luogo, si fa uso di un apparato detto *pluviometro* od *udometro*, che consiste in un vaso il cui coperchio ha la forma d'imbuto, il quale ha un foro nel centro destinato a lasciar scolare l'acqua nel recipiente, ove si accumula a poco a poco. Allorchè nel pluviometro l'altezza di livello è di 3,4..... centimetri, si viene a conoscere che la quantità d'acqua caduta in quel luogo avrebbe coperto il suolo di uno strato di 3,4..... centimetri, se l'acqua non fosse stata assorbita dalla terra, o non fosse scorsa via.

729. Neve. — Se le alte regioni atmosferiche, ove trovansi le nubi, hanno una temperatura inferiore a zero, il vapore visibile, anzichè rappigliarsi in gocciole liquide, si congela, formando fiocchi soffici e bianchi, i quali, cadendo, costituiscono la neve. Allorchè l'aria sottoposta alla nube è tranquilla e secca, la neve cade sotto forma di tante stellette di sei raggi di varia figura, ma sempre regolare e bella. Tal forma è dovuta da che l'acqua nel congelarsi si cristallizza (533). Ma se l'aria sottoposta alla nube è agitata ed umida, la neve cade sotto forma di grossi fiocchi irregolari, perchè le stellette, attraversando l'aria umida, raffreddano il vapore acqueo in quella contenuto, il quale aderisce alla neve, si congela e ne aumenta il volume. Non avvenendo un tal deposito in modo regolare,

il fiocco perde la simmetria di figura; ma esaminato con un microscopio si vede essere l'aggregato di più stellette. In alcuni luoghi, e specialmente nelle regioni polari, la neve apparisce tinta in rosso: il qual colore è dovuto ad una crittogama che nasce e cresce sulla neve, e che dicesi *uredo nivalis*, o ad una piccola alga, che pure prospera nella neve ed appellasi *protococus nivalis*, o ad un deposito di ovoli di un insetto chiamato *phylodina roseola*.

Se nell'alto dell'atmosfera la temperatura è di molti gradi inferiore allo zero, il vapore si congela più solidamente, ed invece di formare soffici fiocchi di neve, cade sotto forma di piccoli granelli inviluppati talvolta da vero ghiaccio trasparente, e si ha il così detto *nevischio*. Se al contrario l'aria conserva a motivo dei venti una temperatura superiore allo zero, mentre il suolo è assai freddo; cadendo la pioggia, l'acqua a contatto del suolo forma un sottilissimo strato di ghiaccio, al qual fenomeno dassi il nome di *gelicidio*.

730. Rugiada. — Spesso dopo una notte serena e tranquilla si veggono le erbe e gli altri oggetti, che si trovano in vicinanza del suolo, bagnati, chi più, chi meno, da goccioline d'acqua. Tal fenomeno, che si appella *rugiada*, così viene spiegato da Wels. Nelle notti serene l'erbe e gli altri corpi, che si trovano vicini al suolo ed allo scoperto, raggiano verso lo spazio celeste grande quantità di calorico e poco ne ricevono dall'aria, perchè questa poco ne raggia. È per ciò, che i detti corpi si abbassano di temperatura, fino ad avere, come ha sperimentato Wels, 8°, 10°, ed anche 12° di calore di meno dell'atmosfera. Raffreddatisi i detti corpi, si viene a raffreddare l'aria che ad essi si trova a contatto, onde questa deporrà su loro una quantità di vapore, che, liquefacendosi, forma la rugiada. Siccome il raffreddamento dei corpi avviene, come abbiamo detto, per irraggiamento, ne discende, che quanto più un corpo ha potere emissivo (697), tanto più si deve raffreddare e tanto più copiosa deve essere la rugiada che si deposita su di esso. Per consimile ragione la rugiada è più abbondante sull'erbe che sul suolo; più sul terreno lavorato che su di un terreno battuto e sodo. Si deve aggiungere che alcune erbe non si trovano bagnate, quantunque si raffreddino, perchè sono fornite di una lanugine minutissima o d'una sostanza oleosa, le quali, non avendo alcuna affinità per l'acqua, fanno sì, che le stille di rugiada appena formate scivolino sulle dette erbe e cadano nel suolo. Se il cielo è coperto di nubi, queste, raggiando calorico verso il suolo, impediscono il soverchio raffreddamento del medesimo; onde la rugiada è o scarsa o nulla. Allorchè spira un notevole vento, esso rinnova di continuo gli strati d'aria, che sono in contatto coll'erbe; per il che non avendo questi tempo di depositare il vapore, la rugiada non si forma. Non si bagnano finalmente i corpi collocati in alto ed isolati; perchè l'aria, la quale sta ad essi in contatto, appena incomincia a raffreddarsi, si addensa e cade in basso.

A Wels si oppose il Fusinieri, secondo il quale la rugiada è formata dal vapore, che viene emesso dal suolo, che è sempre più caldo dell'aria, il qual vapore, raffreddandosi a contatto di questa, passa allo stato liquido e si deposita di nuovo sul suolo e sull'erbe.

Le principali ragioni, che si oppongono al Wels, sono le seguenti: 1ª molte osservazioni mostrano che nelle notti serene il primo strato d'aria si mantiene più freddo dello strato di terra che gli sta a contatto; 2ª sembra impossibile, che il suolo nudo battuto in tutta la giornata dai raggi solari addivenga per l'irraggiamento notturno più freddo dell'aria in modo da far precipitare il vapore contenuto da questa; 3ª la rugiada si deposita prima sulle pagine inferiori, che nelle superiori delle foglie, quantunque quest'ultime debbansi per irraggiamento prima raffreddare, perchè sono rivolte verso lo spazio libero.

731. Brina. — Allorchè l'erbe ed il suolo si trovano ad una temperatura inferiore a zero, la rugiada si converte in *brina*, congelandosi. Dal colore biancastro e non trasparente della brina si deve argomentare, che il vapore si congela senza passare per lo stato intermedio di liquidità. Alle volte ha luogo la brina, allorchè vi è una densa nebbia, nel qual caso il fenomeno è prodotto dalla nebbia stessa congelata.

732. Grandine. — La grandine consiste nella caduta di gran numero di pezzi di ghiaccio, la cui grossezza varia dal più piccolo globetto a voluminose masse, che superano talvolta la grandezza delle uova comuni. Se si rompe un globetto di grandine, si vede, che spesso ha un nucleo centrale di neve soffice, il quale è coperto di varii strati concentrici, alcuni di ghiaccio trasparente e compatto, ed altri opachi. Moltissime sono le ipotesi ideate per spiegare questa meteora, sulla quale anche oggi tanto si studia: noi riferiremo le principali, incominciando da quella data da Volta.

S'immagini, che due nubi cariche di elettricità di nome contrario (297) siano poste l'una sopra all'altra, e che una di esse si trovi in mezzo ad un'aria ben secca. Tale siccità dell'aria farà passare allo stato invisibile parte della nube, e siccome, perchè ciò avvenga, è necessario, che una parte di calore rendasi latente, ne verrà che il resto della nube si abbassi ad una temperatura inferiore allo zero; ond'è che una parte del suo vapore si rappiglia in fiocchetti di neve, i quali, prendendo l'istessa elettricità della nube, verranno respinti da questa ed attratti dall'altra (295). Penetrando i fiocchetti nella seconda nube, raffreddano gli strati di vapore che li circondano, onde il vapore si deposita intorno a ciascun fiocco, passa allo stato liquido, e poi si congela, formando il primo involucro di ghiaccio. I globetti si caricano dell'elettricità della seconda nube, dalla quale perciò sono tosto respinti, e venendo attratti dalla prima, penetrano in questa, e nel suo seno si rivestono di un secondo strato di ghiaccio, e così di seguito. Andando i globetti di grandine saltellando da una nube all'altra, producono quel rumore, che suole precedere la caduta della gragnuola, e sempre più s'ingrossano, finchè scaricandosi, o spostandosi fra loro le due nubi, od aumentandosi soverchiamente il peso dei grani, questi cadono al suolo. La principale obbiezione, che fassi all'ipotesi del Volta, è il non potersi comprendere come, stando di fronte due nubi cariche di opposte elettricità, esse non vengano rapidamente ad incontrarsi ed a scaricarsi.

Quindi è, che Saussure ed il P. Pianciani ad escludere il sal-

tellamento dei globuli fra le due nubi ammettono, che i primi fiocchi di neve si vestono di nuovi involucri di ghiaccio nell'attraversare, cadendo, le nubi sottoposte, ma come osserva Majocchi, non sembra ciò ammissibile, se si rifletta al gran calore, che domina negli strati inferiori.

Altra spiegazione della grandine è stata data da Dufour. Ha questo fisico dimostrato con esperimenti: 1° che una goccia d'acqua in mezzo all'aria può restare liquida anche ad alcuni gradi sotto allo zero; 2° che se una goccia d'acqua del diametro di 3 a 5 millimetri alla temperatura di 6 o 7 gradi sotto allo zero viene a contatto con un'altra simile gocciola, ma già congelata e sospesa nella medesima massa fluida, quella si congela istantaneamente, formando una sfera di ghiaccio staccata e talvolta aderente per un solo punto all'altra; 3° che, se la temperatura della goccia liquida è di 3° o 4° sotto allo zero, il contatto della sfera ghiacciata ne determina pure la solidificazione, ma con adesione più o meno estesa fra i due pezzi di ghiaccio; 4° che finalmente, se la congelazione della goccia d'acqua avviene alla temperatura di uno o due gradi sotto allo zero, la gocciola si distende intorno al nucleo di ghiaccio, in contatto del quale si solidifica. Ammette pertanto Dufour, che quando esistono nell'aria delle piccole goccie d'acqua raffreddate sotto allo zero, ed altre già congelate, l'agitazione dell'aria, portando a contatto delle gocciole liquide quelle già solide, produce l'ingrossamento dei globuli, e quindi la loro caduta, Nota però il chiarissimo Secchi che onde l'acqua possa rimanere nel seno dell'atmosfera allo stato liquido a temperature inferiori allo zero, si esigerebbe una quiete perfettissima, la quale non si può supporre in mezzo alla bufera, che precede la formazione della grandine.

Il sommo astronomo e fisico romano fa notare alcuni fatti, che aprono la via alla spiegazione della meteora, di cui ora trattiamo. Madama di Poitevin in un'ascensione aereostatica effettuata in Roma, quantunque il cielo fosse limpidissimo, s'imbattè all'altezza di circa 1200 metri in un vortice aereo violentissimo, entro al quale il freddo era così intenso, che in meno di 5 minnti fu gelata la boccia d'acqua, che la suddetta signora seco portava. Da questo fatto deduce il Secchi, che, producendosi questi vortici nell'atmosfera, il freddo interno può istantaneamente congelare grosse gocce d'acqua, al che si richiede una temperatura di soli — 12° o — 13°, mentre in cinque minuti una massa di acqua si solidificò nel fatto narrato. Osserva poi che i detti turbini si possono formare per una causa qualunque, che in basso diminuisca la pressione anche in una limitata estensione di paese, tale sarebbe un condensamento istantaneo di vapore, il raffreddamento dell'aria bassa ecc. Formato poi un vuoto è naturale che l'aria venga a riempirlo non solo dai lati, ma molto più facilmente dall'alto, formando un gorgo simile a quello, che l'acqua produce, quando si apre un foro nel fondo del vaso, in cui quella è contenuta. È la discesa dell'aria dalle alte regioni atmosferiche quella che produce il grande freddo, che ha luogo nell'interno del vortice. Congelate le gocce d'acqua in seno di questo, possono da esso vortice essere

trasportate per lunghissimo spazio; e lo stesso Secchi potè in Loreto osservare un vortice ad asse orizzontale pieno di grandine così fitta da rendere l'aria molto opaca, ed i cui grani si aggiravano in spire velocissime senza cadere in terra. Era poi tanta la violenza del turbine, che battendo col suo asse perpendicolarmente sulla facciata d'un edifizio, ne strappò le grondaie di latta coi ferri e col pane di muratura di gesso, che le fermava al cornicione, facendole poi ricadere ad una distanza di più di 100 metri. Può adunque il turbine trasportare la grandine per lungo tempo, facendole attraversare zone più o meno fredde, più o meno umide. Allorchè i grani di ghiacchio passano per strati umidi ed assai freddi, il vapore si depositerà su loro, e congelandosi immediatamente formerà un involucro opaco: che se meno intenso è il freddo, il vapore passerà allo stato di liquido e poi a quello di solido, costituendo un involucro trasparente. Nota inoltre il Secchi, che le grandini non si originano mai nel mare libero, nè nelle pianure isolate, ma nelle radici dei monti, dalle quali si diramano alle pianure, e ne assegna la ragione. Sono i detti luoghi quelli, ove si generano numerose correnti verticali ascendenti, prodotte dal calore solare, e rampicanti sulle pendici dei monti; le quali correnti sono più frequenti nelle giornate di caldo *soffocante*, in quelle cioè in cui l'aria è umida e calma. Le correnti ascendenti ne generano altre discendenti a breve distanza di aria assai fredda: da qui la formazione dei vortici.

Secondo il Secchi, l'elettricità, che sempre accompagna la caduta della grandine, è un effetto secondario; poichè la condensazione dei vapori produce elettricità positiva. Si deve poi aggiungere, che l'aria secca e serena prima che si formi il turbine è molto elettrizzata; per il che il vortice nella sua rapida traslazione, imbattendosi in essa, ed essendo umido e conduttore, si carica di elettrico enormemente, e poi lo scarica.

OTTICA

CAPO I.

PROPAGAZIONE DELLA LUCE

733. Luce. — Allorquando od il sole od una fiaccola non rischiarano gli oggetti, che ci circondano, noi non li vediamo. Perchè adunque abbia luogo la visione è necessario, che o dal sole o da una fiaccola parta una qualche cosa, che battendo nei corpi, e venendo da questi riflessa, giunga al nostro occhio e vi faccia impressione. Ora *quella cosa*, che fa impressione nell'occhio, e che è causa della visione, dicesi luce. Si chiamano poi *luminosi* quei corpi, che emanano luce propria, come il sole, una fiamma ecc., ed *illuminati* quelli che non hanno luce propria, ma riflettono verso di noi la luce emessa dai primi; tale è la luna. *Opachi* si appellano i corpi, che dalla luce non si fanno attraversare; *diafani* quelli che le dànno passaggio. Questi ultimi possono essere o *perfettamente trasparenti* o *pellucidi*; a traverso di quelli noi vediamo distintamente la forma degli oggetti che ci mandano la luce, ma non già attraverso di questi. Ad esempio, una lamina di vetro levigato è perfettamente trasparente, ed è pellucida quando è smerigliata.

734. Teoriche sulla natura della luce. — Vi è tanta relazione tra i fenomeni calorifici e luminosi, che tutti ammettono, provenire i medesimi da una causa comune, cosicchè ciò, che in tutto il corpo produce la sensazione del caldo, generi nell'occhio quella della luce. È per questo, che relativamente alla luce si sono date le stesse due teoriche assegnate alla spiegazione della natura fisica del calore (492), cioè l'ipotesi dell'emissione, che asserisce essere la luce un fluido imponderabile emesso dai corpi luminosi e riflesso dagli illuminati; e la teorica delle ondulazioni, secondo la quale la luce consiste in vibrazioni dell'etere.

735. Raggio luminoso. — Come nello spiegare i fenomeni calorifici si è totalmente abbandonata la teoria dell'emissione, così del

tutto si è la medesima rifiutata relativamente alla luce, perchè oltre alle ragioni, che militano a favore del sistema delle vibrazioni rapporto al calorico (624), altre ve ne sono riguardo alla luce; abbiamo cioè molti fenomeni luminosi, ad esempio le interferenze, di cui avremo in seguito a parlare (858), che non possono spiegarsi coll'ipotesi dell'emissione, mentre sono una giusta conseguenza della teoria delle vibrazioni. Spesso in appresso nomineremo i *raggi di luce*, colle quali parole intendiamo indicare i raggi delle onde sferiche eteree, ossia linee che passino per le molecole di etere, che fra di loro si comunichino il moto vibratorio. Avvertire poi si deve, che le vibrazioni delle molecole eteree, che sono nella direzione di un raggio non sono longitudinali, ma trasversali.

736. Propagazione della luce in linea retta. — Nel vuoto od in un mezzo d'uniforme densità i raggi luminosi sono rettilinei. Difatti, si abbiano tre diaframmi, in ciascuno dei quali sia praticato un piccolo foro. Posti i tre diaframmi uno avanti all'altro in modo che i tre fori si corrispondano in linea retta, il nostro occhio potrà attraverso dei medesimi vedere un punto luminoso, il che non sarà mai possibile, quando uno dei diaframmi venga anche per poco spostato.

737. Ombra e penombra. — Dalla propagazione della luce in linea retta viene, che intercettando un corpo opaco i raggi luminosi che battono su di esso, una parte di detto corpo opposta a quella da cui viene la luce non è illuminata, e dietro al medesimo vi è una parte di spazio alla quale la luce non può giungere. Dicesi *ombra vera* la parte del corpo opaco non illuminata, *linea di separazione di ombra e di luce* quella che nel corpo medesimo separa la parte illuminata dall'oscura, *ombra portata* la parte dello spazio che è priva di luce, e *linea d'ombra portata* quella che in una parete od in un altro corpo separa la parte illuminata dall'ombra projettata.

Volendo determinare le ombre projettate da un corpo si debbono distinguere due casi; quello cioè in cui la sorgente luminosa sia un punto solo, e quello in cui la sorgente sia costituita da più punti luminosi, o da un corpo dotato di un'estensione qualunque. Sia S (fig. 331) un punto luminoso ed M un corpo opaco, che supporremo sferico. Si tiri una retta SE, la quale partendo da S, sia tangente al corpo opaco, e proceda indefinita. Facendo girare questa linea in modo che sempre lambisca il corpo M, il punto di contatto *a* descriverà la linea di separazione di ombra e di luce *acd*; la parte *a*E traccerà una superficie, che separa la parte oscura dall'illuminata, ed in fine l'intersezione E di essa retta col diaframma PQ descriverà la curva EVHO, che è la linea d'ombra portata sul diaframma suddetto. Che se il corpo luminoso non sia un solo punto, ma abbia una certa estensione, oltre all'ombra avrassi anche la *penombra*. Rappresenti ST (fig. 332) il corpo luminoso veduto di profilo, AB il profilo del corpo opaco, PQ quello di un diaframma. Considerando il punto S, e conducendo da esso le rette SC ed SF, che lambiscono gli estremi del corpo opaco, sarà facile il concepire che nel diaframma PQ sarà CF l'ombra di AB, in quanto che AB intercetta i raggi provenienti da S. Con-

siderando poi il punto luminoso T e tirando le rette TE, TD, sarà palese essere ED l'ombra di AB relativamente al punto T. Quindi è, che tra C e D non giunge alcun raggio di luce, che parta dai varii punti di ST; avremo cioè in CD ombra perfetta. In CE giungono i raggi, i quali procedono da S, ma non quelli che partono da T, ed in DF quelli emessi da T, ma non quelli che vengono da S; e per ciò in CE e DF avrassi un'ombra imperfetta, ossia la penombra. Sia dopo ciò (fig. 333) LS un corpo luminoso sferico, avanti a cui si trovi un corpo opaco pure sferico MN, e si vogliano tracciare nel diaframma PQ l'ombra e la penombra. Guidata la retta SMG, che sia tangente alle due sfere da una medesima parte, s'immagini che essa giri intorno alle sfere, rimanendo sempre tangente a queste; l'estremo G dovrà tracciare sul diaframma la curva GH, che sarà il limite dell'ombra portata. Condotta poi la retta SNC tangente pure alle due sfere, ma ad una da una parte, alla seconda dall'altra, e fattala girare intorno, rimanendo sempre tangente alle sfere, l'estremo C di essa traccerà la curva DC che sarà il limite esterno della penombra.

Essendo il corpo luminoso SL più piccolo del corpo opaco, lo spazio collocato nell'ombra, come vedesi nella figura, è limitato dalla superficie di un tronco di cono, che ha la base minore in contatto del corpo opaco: quindi l'ombra nella parte opposta procede all'illimitato, e l'ombra projettata nel diaframma sarà tanto più grande, quanto più distante esso diaframma troverassi dal corpo opaco. Ma se il corpo luminoso sia più grande di quest'ultimo, l'ombra avrà un limite nella sua estensione. Difatti, se SL (fig. 334) è il corpo luminoso ed MN l'opaco, con il metodo poco fa esposto troveremo che lo spazio privo di luce è racchiuso entro alla superficie conica MAN tutta limitata. L'ombra si projetterà sul diaframma PQ, quando questo stia tra il vertice A del cono ed il corpo opaco, e sarà tanto più piccola quanto più il diaframma è discosto dal corpo opaco suddetto: non si projetterà poi affatto su di esso, quando questo avrà presa una posizione P'Q' al di là del vertice A.

738. Intensità della luce a varie distanze. — Propagandosi la luce in linea retta, la sua intensità a diverse distanze dalla sorgente deve essere nella ragione inversa dei quadrati delle distanze stesse. Invero vedendosi un punto luminoso da ogni parte, si deve dedurre che i raggi della luce procedono come i raggi d'una sfera divergenti fra di loro, e che la luce emanata andrà a formare una sfera, al cui centro trovasi il punto luminoso. Il cono LFH (fig. 335) sia una parte di questa sfera, e con piani perpendicolari all'asse s'immagini tagliato questo cono nei punti A ed F: le sezioni saranno due cerchi AC, FH. La medesima quantità di luce, che prima illumina il cerchio AC, va poi ad illuminare il cerchio FH. Adunque le intensità della luce alle distanze LE, LM saranno fra di loro nella ragione inversa delle superficie dei detti due cerchi; onde indicando con I, I' le intensità nei due suddetti punti, e considerando, che le superficie dei cerchi sono proporzionali ai quadrati dei raggi, potremo scrivere la proporzione

$$I:I' = \overline{FM}^2:\overline{AE}^2 .$$

Ma per la somiglianza dei triangoli LMF, LEA si ha pure

$$\overline{FM}^2 : \overline{AE}^2 = \overline{LM}^2 : \overline{LE}^2 .$$

Dunque si avrà in fine $I : I' = \overline{LM}^2 : \overline{LE}^2$.

739. Fotometri. — La legge importantissima ora esposta si può sperimentare con un apparecchio detto *fotometro*, che può avere svariatissime forme, di cui esporremo le più semplici. Si abbia un piano orizzontale MN (fig. 336): da un'estremità di questo sorga verticalmente una lastra di vetro smerigliato KH, e perpendicolarmente ai detti due piani sia tirato un diaframma opaco DCFE. Da una parte e dall'altra di tal diaframma siano collocate ad egual distanza dal vetro smerigliato due fiaccole dotate di egual potere illuminante. Si comprende, che a cagione dell'opacità del diaframma la parte K del vetro sarà illuminata solamente dalla fiaccola B e la parte H dalla fiaccola A. Or bene, nell'attuale disposizione K ed H saranno egualmente illuminate. Ma se la fiaccola A si porti in G, cioè ad una doppia distanza da H, questa parte rimarrà meno illuminata di K, e per ottenere, che le due parti tornino egualmente splendenti, sarà necessario porre in G quattro fiaccole eguali; il che prova, che l'intensità della luce proveniente da ciascuna fiaccola si è in H ridotta ad un quarto di quella, la quale ivi si aveva, quando la sorgente era in A.

Il fotometro serve ancora per paragonare fra di loro i poteri illuminanti di due diverse sorgenti di luce. Si ponga a tal fine una di esse nella parte A e l'altra nella parte B, e si avvicini questa o si allontani da H, finchè non si veggano H e K egualmente rischiarate. Si misurino dopo ciò le distanze delle due sorgenti luminose dal vetro, e se una di esse si trovi ad una distanza doppia, tripla ecc. di quella dell'altra si dirà, quella sorgente avere un potere illuminante quattro, nove..... volte maggiore. Bunsen ha ideato un fotometro il più semplice di tutti, consistendo questo in un foglio di carta tirato in una cornice, ed avente una macchia d'olio nel suo centro; la qual macchia, come è noto, è pellucida. Posta pertanto una fiaccola dietro alla carta, la luce, che batte sulla macchia, passa dall'altra parte, ma non così quella, che batte sul resto del foglio: ond'è che se questo si metta in mezzo a due lumi, che si vogliono fra di loro confrontare, un occhio collocato da una banda vedrà la parte bagnata d'olio per la luce proveniente dal lume posteriore, il resto per la luce riflessa ed emessa dal lume anteriore. Se adunque si vegga la macchia o più oscura o più chiara del resto, sarà segno, che la luce non è eguale in intensità nelle due facce della carta; la quale intensità è invece eguale, quando la macchia svanisce dall'occhio. Quindi se veggasi la macchia allorchè le due sorgenti sono ad egual distanza dal foglio, si avvicina o si allontana una di esse, finchè non facciasi quella invisibile, e con facile calcolo si verrà a conoscere di quanto il potere illuminante di uno dei due lumi superi quello dell'altro.

740. Lucimetro del P. Provenzali. — Il più delicato fotometro è il lucimetro del chiarissimo P. Provenzali, che è basato sulla proprietà, di cui gode una soluzione satura di jodio nel bisol-

furo di carbonio di assorbire completamente i raggi luminosi, trasformandoli in calore. Consiste questo fotometro in due termometri collocati l'uno vicino all'altro in una medesima tavoletta. Uno di essi è a mercurio, e l'altro ha per liquido termometrico la suddetta soluzione di jodio. La graduazione del primo è fatta col metodo solito (500), ma il secondo si gradua, confrontandolo coll'altro nell'oscurità: i gradi poi debbono essere ampii in modo da potervi leggere i loro quinti. Questi due termometri nell'oscurità vanno d'accordo; ma quando siano esposti alla luce, quello a bisolfuro di carbonio supera l'altro di tanto, di quanto è maggiore l'intensità della luce; e ciò avviene perchè il mercurio non assorbe ma riflette i raggi luminosi, onde indica la temperatura vera, mentre la soluzione di jodio assorbe la luce e la trasforma in calore. Adunque dalla diversità delle temperature indicate dai due termometri si può argomentare l'intensità luminosa. Si deve poi notare, che se il termometro a bisolfuro sia immerso in un recipiente di vetro contenente una limpida soluzione di bisolfato di chinina, trasformerà in calore i soli raggi luminosi, mentre i raggi chimici, di cui parleremo altrove (799), vengono intercettati dalla soluzione di chinino suddetta.

741. Velocità della luce. — Le osservazioni di Cassini sui satelliti di Giove dettero il mezzo all'astronomo danese Roemer di dimostrare qual sia l'immensa velocità, con cui la luce si propaga. Per ben comprendere il metodo usato da Roemer, si supponga, che un fenomeno luminoso, ad esempio l'accensione di piccola quantità di polvere, si ripeta periodicamente ad intervalli di tempo esattamente eguali, poniamo di dieci in dieci minuti. Un osservatore, che stia vicinissimo al luogo, dove succede il fenomeno, vedrà brillare la luce nel momento stesso, in cui essa è prodotta. Ma dato che la luce impieghi un qualche tempo a percorrere uno spazio, e supposto che l'osservatore si trovi a notevole distanza, egli seguiterà a vedere di dieci in dieci minuti la luce, ma non già nell'istante stesso, in cui la polvere s'incendia, bensì più tardi, e tanto più tardi, quanto più distante egli si trova; il qual ritardo proviene dal tempo impiegato dalla luce a percorrere quello spazio. Conoscendosi poi la distanza, e sapendosi quanto sia il ritardo, potrà facilmente determinarsi la velocità della luce. Questo è il principio, su cui Roemer basò il suo metodo. Sia S (fig. 337) il sole, T'TM rappresenti l'orbita della terra, *i* I' parte dell'orbita di Giove, che compie un giro intorno al sole in 11 anni e 10 mesi circa. Trovisi Giove in I ed *m* sia l'orbita del suo primo satellite. Essendo quest'orbita quasi coincidente con quella di Giove, nel suo piano troverassi il cono d'ombra *a* projettato da questo pianeta. Per il che in ogni giro del satellite, questo dovrà immergersi nel cono ombroso e poi emergere dall'ombra. Quando la Terra si trovi in congiunzione od in opposizione con Giove, non possono da noi vedersi nè le immersioni, nè le emersioni, perchè il cono *a* rimane nascosto da Giove medesimo. Dall'epoca della congiunzione a quella dell'opposizione, cioè quando la Terra si reca da T a T', passando per M, non saranno per noi visibili, che le immersioni, mentre al contrario le sole emersioni si vedranno, quando la Terra percorra lo spazio T'OT,

ossia nel tempo, che passa tra l'opposizione e la congiunzione. Si volle conoscere il tempo impiegato dal primo satellite a percorrere la sua orbita, e si raggiunse lo scopo, cercando quanto tempo passava tra due immersioni successive del satellite nel cono d'ombra. Per maggiore esattezza si osservarono molte immersioni successive e si divise il tempo totale per il numero degli ecclissi. Notisi che simili osservazioni si debbono fare principalmente in vicinanza delle congiunzioni; per esempio quando Giove trovisi in i ed in i': in i si vedranno le emersioni, in i' le immersioni. In tal modo si è conosciuto, che il detto primo satellite compie il suo giro in ore 42,30'. Osservata l'ora precisa d'un'immersione in prossimità della congiunzione della Terra T con Giove, sarà cosa facile stabilire il tempo preciso, in cui dovrebbero apparire gli ecclissi nel lasso di molti mesi, se la luce si propagasse istantaneamente, non dovendosi fare altro, che aggiungere successivamente al tempo, in cui avvenne l'osservato ecclissi 42^h, 30'. Dopo alcuni mesi si sarà Giove trasferito in I' e la Terra in T' cioè la Terra sarà prossima alla sua opposizione col detto pianeta. Si osservi il tempo in cui avviene l'eclisse del satellite, e si troverà che questo ritarda di 16',26'' dal tempo, che si era calcolato. Tale ritardo non può provenire se non da che in questa posizione degli astri la luce ha dovuto percorrere uno spazio maggiore per MT', che è il diametro dell'orbita terrestre, il quale è di circa 305 milioni di chilometri. Adunque la luce percorre questo enorme spazio in 16',26''; il che è quanto dire, che ha una velocità di 308000 chilometri per secondo; onde si conchiuderà, che la luce giunge dal Sole alla Terra in 8',13''. Per formarci una qualche idea dell'immensa velocità della luce, basti il dire, che una palla da cannone impiegherebbe 14 anni per giungere dalla Terra al Sole, e che una locomotiva con una velocità di 60 chilometri all'ora v'impiegherebbe 290 anni. È la luce 900000 volte più veloce del suono nell'aria a zero gradi, e va 10000 volte più celere che il nostro globo nella sua orbita.

742. Esperimento di Fizeau. — Fizeau è giunto a misurare la velocità della luce col seguente ingegnoso esperimento. Si abbia un disco di metallo circolare e mobile intorno ad un asse orizzontale in modo, che per mezzo di un sistema di ruote dentate possa concepire un movimento rapidissimo. Il contorno del disco abbia 720 denti ed altrettanti intervalli eguali in larghezza ai denti. Sia A (fig. 338) questo disco, che immaginiamo di vedere di profilo dall'alto. Sia I una lampada, che tramandi raggi alla lente convergente C; i quali raggi, come vedremo in appresso (771), andrebbero a riunirsi in f, se una lamina piana di cristallo M inclinata per 45° alla direzione If non riflettesse essi raggi in guisa da farli invece riunire nel punto p, ove si trova uno spazio posto fra un dente e l'altro della ruota A. Nel punto p coincide il foco principale (772) d'una lente convergente C', la quale fa sì, che i raggi, che si sono intersecati in p, escano da essa paralleli, come si dimostrerà in seguito. I detti raggi, essendo fra loro paralleli, potranno giungere ad una seconda stazione collocata a grande distanza, ad esempio a 17 chilometri, ed ivi giunti si abbatteranno in un cannocchiale L'; onde un occhio collocato in O vedrebbe distintamente il punto

luminoso p. Ma si ponga invece dell'oculare O uno specchio piano: avverrà, che i raggi di luce, battendo in questo specchio, si rifletteranno, e tornando indietro, passeranno per l'intervallo p, attraverseranno la lamina M, e giungeranno all'occhio d'un osservatore armato del cannocchiale L, il quale perciò vedrà il punto p per mezzo della luce che ha percorso due volte lo spazio posto tra le due stazioni. Se mentre la luce va da p all'altra stazione e torna indietro, il disco si è mosso in guisa, che ove prima era un intervallo, ora siasi collocato un dente, questo impedirà, che la luce, la quale torna, giunga all'occhio, il quale per ciò non vedrà il punto luminoso. Un contatore indica il numero dei giri, che fa il disco in un secondo, e per conseguenza si può facilmente calcolare il tempo impiegato dalla luce a fare il duplice tragitto. Difatti, se il disco compiesse 1000 giri al secondo, per farne un solo impiegherebbe un millesimo di secondo, e poichè durante il viaggio della luce nel nostro caso il disco si sarebbe spostato di un solo dente, che occupa $\frac{1}{1440}$ della circonferenza; questo viaggio si sarebbe effettuato in un tempo eguale a $\frac{1}{1440}$ di $\frac{1}{1000}$ di secondo, ossia in $\frac{1}{1440000}$ di secondo. Se si raddoppiasse la velocità del disco, l'occhio vedrebbe la luce, perchè durante il viaggio di questa si sarebbe in p collocato lo spazio successivo; e così via via coll'aumentare la velocità di rotazione si succederebbero alternativamente i passaggi e le interruzioni dei raggi luminosi. Con tal metodo Fizeau è giunto a conoscere, che la luce percorre 315000 chilometri al secondo, numero non molto diverso da quello trovato da Roemer.

CAPO II.

RIFLESSIONE DELLA LUCE

743. *Leggi della riflessione* — 744. *Specchi piani* — 745. *Immagini multiple negli specchi paralleli* — 746. *Specchi sferici* — 747. *Specchi concavi. Loro foco principale* — 748. *Loro fochi conjugati* — 749. *Assi ottici secondarii* — 750. *Immagini formate dagli specchi concavi* — 751. *Formole relative* — 752. *Rapporto tra le grandezze dell'oggetto e dell'immagine in uno specchio concavo* — 753. *Caustica* — 754. *Specchio convesso. Suo foco principale* — 755. *Fochi conjugati virtuali* — 756. *Immagini formate da uno specchio convesso* — 757. *Formola relativa ai fuochi virtuali* — 758. *Rapporto tra le grandezze dell'oggetto e dell' immagine in uno specchio convesso* — 759. *Luce diffusa.*

743. Leggi della riflessione. — Allorquando un raggio di luce incontra una superficie levigata, si riflette, e siccome la luce con-

siste nel moto ondulatorio dell'etere (734), obbedisce alle leggi, secondo le quali si riflette il moto suddetto (79). In un vaso I (fig. 339) a fondo piatto si versi mercurio per mezzo d'un imbuto di vetro a tubo sottile; il mercurio così filtrato presenterà una superficie orizzontale piana assai levigata. Si faccia cadere su questa un sottil fascio di raggi solari, che penetra per un forellino in una camera oscura. Sia A I il fascio incidente, il quale è visibile per il polviscolo, che da esso è illuminato. Per l'istessa causa ci sarà visibile l'andamento del raggio riflesso I R. Un filo a piombo sostenuto da un montante si ponga in modo, che la sua estremità inferiore coincida col punto d'incidenza I: sarà *i* l'angolo d'incidenza ed *r* quello di riflessione. Sarà facile cosa verificare le due leggi della riflessione, cioè 1ª il piano, che contiene il raggio incidente e la normale elevata dal punto d'incidenza, contiene ancora il raggio riflesso; 2ª L'angolo d'incidenza è eguale a quello di riflessione. Si ponga difatti un occhio in un punto O tale, che il raggio A I e la normale N I si coprano a vicenda; allora la pupilla si trova nel piano, in cui giacciono le dette due linee. Anche il raggio riflesso dovrà dirsi giacente nel medesimo piano, perchè l'occhio non lo vede nè a diritta, nè a sinistra delle due menzionate rette. Per dimostrare la seconda legge si prenda un metro graduato in centimetri e millimetri, e si applichi orizzontalmente sul detto piano a contatto del filo a piombo, e si misurino le distanze NA, RA. Queste si troveranno perfettamente eguali fra loro; onde risultano eguali i triangli NAI, NIR e per conseguenza eguali gli angoli *i*, *r*.

744. Specchi piani. — Le leggi ora esposte ci danno il mezzo di spiegare le immagini prodotte dagli specchi. Incominciamo a trattare degli specchi piani. Rappresenti MN (fig. 340) il profilo d'uno di questi, avanti al quale sia collocato un punto A, che tramanda luce. Il raggio luminoso AI batta nello specchio, e si voglia sapere quale direzione questo prenderà dopo la riflessione. Dal punto A si conduca allo specchio la perpendicolare AC, che deve prolungarsi dietro allo specchio fino in A' in modo, che sia A' C $=$ A C. Congiunto il punto A' con il punto d'incidenza I per mezzo della retta A'I prolungata, sarà I R l'andamento del raggio riflesso. Vaglia il vero, per i triangoli eguali A C I, A' C I si ha $a = s$; ma $s = b$; dunque sarà ancora $a = b$. Condotta pertanto la I P normale allo specchio sarà $i = r$, perchè questi sono complementi d'angoli eguali. Inoltre nel piano che passa per le rette parallele A A', N I, devesi ancora trovare la linea A'R: dunque IR soddisfa alle due leggi della riflessione, e per ciò essa traccia la via del raggio riflesso. Se si consideri un altro raggio incidente AI', nel medesimo modo si troverà, che il raggio riflesso è I'R', e così si verrà a conoscere che tutti i raggi riflessi debbono prendere una direzione tale, quale avrebbero, se invece di partire da A, partissero da A'. Ond'è, che un occhio collocato in O vedrà per luce riflessa in A' un'immagine di A, cioè la vedrà dietro allo specchio nel prolungamento della normale condotta su questo dal punto luminoso e ad una distanza dallo specchio eguale a quella, che passa tra questo ed il punto, che tramanda la luce. Alla detta immagine dassi il nome d'*im-*

magine virtuale, perchè veramente essa non si forma in A'; ma i raggi si riflettono, come se realmente da quel punto provenissero.

Sia ora collocato avanti allo specchio e parallelamente ad esso un oggetto AB (fig. 341), ciascun punto di questo potrà considerarsi come un punto, che manda raggi luminosi allo specchio. Quindi è, che secondo quello, che si è dimostrato, si vedrà l'immagine di A in A' ed in B' quella di B ecc.; cioè dietro allo specchio si dovrà vedere un'immagine virtuale dell'oggetto ad una distanza eguale a quella, che passa tra l'oggetto e lo specchio; immagine, che sarà parallela ed eguale in grandezza all'oggetto. Che se (fig. 342) l'oggetto AB non sia parallelo, ma inclinato allo specchio, anche l'immagine sarà a questo inclinata, però in senso simmetrico, cosicchè se l'oggetto sia inclinato alla superficie riflettente per 45°, pure di 45° allo specchio sarà inclinata l'immagine, formando perciò coll'oggetto un angolo retto: per la qual cosa se l'oggetto è orizzontale, l'immagine viene ad essere verticale, e viceversa. In fine (fig. 343) se l'oggetto è perpendicolare allo specchio, l'immagine deve apparire rovesciata nel prolungamento della normale medesima.

745. Immagini multiple negli specchi paralleli. — Siano MN, DQ (fig. 344) due specchi paralleli fra loro e colle superficie levigate rivolte l'una rimpetto all'altra. Se fra loro si ponga un oggetto, la luce si rifletterà più volte da uno specchio all'altro, e darà luogo ad un gran numero d'immagini, fenomeno consimile all'eco (234). Difatti, sia posto fra gli specchi l'oggetto b, avente una faccia bianca e l'altra colorata, e si consideri la luce, che parte dalla faccia bianca. Batta un raggio di luce in g: sappiamo (743), che in b' si formerà un'immagine simmetrica di b, essendo $ab' = ab$: il raggio di luce bg si rifletterà nella direzione gd, come se provenisse da b', e battendo questo raggio riflesso nel punto d del secondo specchio, si dovrà vedere in b'' un'immagine simmetrica di b' in modo che sia $b'c = b''c$. Il raggio, che ha battuto in d si rifletterà di nuovo nella direzione de, come se provenisse da b'', e giunto in e tornerà a riflettersi nella direzione ef, e vedrassi un'altra immagine b''' simmetrica a b'', e posta a distanza tale, che sia $b''a = b'''a$, e così in seguito. Altrettante immagini si avranno per la luce, che procede dalla parte colorata dell'oggetto b. All'apparecchio formato dai due specchi paralleli dassi il nome di *Galleria ottica*. Se i detti specchi fossero uniti ad angolo, le immagini non si troverebbero più disposte, come nel caso considerato, in una linea retta, ma bensì in una curva circolare, ed in punti simmetrici, e si avrebbe quel piccolo apparato detto *Caleidoscopio*.

746. Specchi sferici. — Una calotta sferica levigata o nella superficie interna, o nell'esterna forma uno *specchio sferico*, nel primo caso *concavo*, *convesso* nel secondo. Si appella *centro ottico* o *di figura* il punto della superficie dello specchio, che trovasi equidistante da tutti i punti del lembo della medesima; dassi il nome di *centro di curvatura* o *geometrico* al centro della sfera, di cui la calotta fa parte; finalmente dicesi *asse ottico principale* una linea retta, che passi per il centro ottico e per quello di curvatura. Gli specchi sferici, che si usano in ottica, debbono avere

una piccola *apertura;* cioè se dal centro di curvatura si conducano due rette, una al centro ottico ed un'altra ad un punto qualunque del lembo, l'angolo da queste formato non deve superare 5^0 o 6^0.

747. Specchi concavi. — Loro foco principale. — I raggi luminosi paralleli fra loro, quali sono i raggi solari, se andando parallelamente all' asse ottico principale OC (fig. 345), battano in uno specchio concavo, di cui MN rappresenti una sezione, essi raggi dopo la riflessione si andranno ad intersecare in un punto F dell'asse principale, collocato alla metà del raggio di curvatura OC. In realtà, consideriamo uno di tali raggi IM; giunto questo in M si rifletterà, facendo l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. L' archetto M d' incidenza si confonde colla tangente condotta in quel punto, alla quale riesce perpendicolare il raggio di curvatura. Tirata adunque OM, sarà i l' angolo d' incidenza. Un piano che passi per IM ed OM deve ancora passare per OC, e su questo piano deve pure trovarsi il raggio riflesso (743), il quale per conseguenza deve intersecare l'asse ottico OC. Si troverà poi il punto F, in cui succede questa intersecazione, col condurre una retta MF tale, che faccia l'angolo r eguale ad i. Ciò posto, si osservi, che il triangolo OFM è isoscele, mentre si ha $i = r$, $i = a$, e per ciò $r = a$. Sarà adunque ancora $OF = MF$. Siccome lo specchio deve essere di piccola apertura, sarà MF vicinissimo ad FC, e quindi la differenza tra queste due linee sarà trascurabile. Facendo pertanto $FC = FM$, sarà $OF = FC$; cioè il punto F si trova alla metà del raggio di curvatura. La medesima dimostrazione ha luogo per qualunque altro raggio LP...., e quindi si può conchiudere, che tutti i raggi luminosi paralleli all' asse ottico principale dopo la riflessione s'intersecano nel punto F, il quale chiamasi *foco principale*, e che la *distanza focale*, cioè la distanza del detto foco dallo specchio, è eguale alla metà del raggio di curvatura. Vero è però, che il raggio riflesso FM diversifica tanto più da FC, quanto più il raggio incidente dista dall' asse ottico; per la qual cosa il foco principale F non deve prendersi come punto matematico, ma come punto fisico.

L'esposta verità si può dimostrare anche sperimentalmente. In una camera oscura si pratichi un' apertura, che poi si chiuda con una lamina avente molti fori. Un fascio di raggi solari batta su questa lamina: molti raggi penetreranno per i fori nella camera, e saranno visibili per mezzo dei polviscoli, che ne rimangono illuminati. Si mostreranno i suddetti raggi paralleli fra loro; ed opposto ad essi uno specchio concavo in modo che l'asse principale sia ad essi parallelo, si vedranno i raggi dopo la riflessione incrociarsi in un punto corrispondente alla metà della distanza che separa il centro ottico dal centro di curvatura. Se nel foco così determinato si ponga una sostanza molto combustibile, e si tolga la lamina forata, sicchè tutto il fascio dei raggi solari batta sullo specchio, quella sostanza s'incendia, la qual cosa dimostra i raggi calorifici riflettersi colle medesime leggi della riflessione dei raggi luminosi (698).

748. Fochi conjugati. — Tutti i raggi che partono da un punto

qualunque p (fig. 346), dopo la riflessione nello specchio concavo MCN debbono andare ad intersecarsi in un medesimo punto. Si considerino tre soli raggi di luce pM, pL, pN, e si ricerchi la direzione che ciascuno di essi prender deve dopo la riflessione. Ad ottener ciò si conducano dal centro O i raggi di curvatura OM, OL, ON ai punti d'incidenza M, L, N: gli angoli a, b, c, che ne nascono, saranno gli angoli d'incidenza. Si guidino di poi le rette Mp', Lp', Np', tali che facciano gli angoli d, e, f rispettivamente eguali ad a, b, c, e saremo certi, che quest' ultime tre linee segnano l'andamento dei raggi riflessi. Se si consideri qualunque altro raggio luminoso, che parta da p, ed a dovere si determini il cammino del raggio riflesso, pure si verrà a trovare che questo, come i primi tre, deve passare per p'; sicchè è lecito conchiudere che tutti i raggi di luce che sono emanati da un punto p, dopo la riflessione s'intersecano in un altro punto p', il quale chiamasi *foco conjugato* del punto luminoso p; e la ragione di tal nome è, che se nel punto dove si forma il foco si ponesse il punto luminoso, nel punto in cui questo prima si trovava, andrebbe a formarsi il foco; imperocchè per nulla si cambierebbe la costruzione fatta; ma solamente quelli che prima erano raggi incidenti, diverrebbero raggi riflessi, e viceversa.

Per intender ciò, che saremo per dire in appresso, bisogna ben notare due cose, la prima delle quali è, che per determinare il foco conjugato, basta condurre dal punto luminoso due raggi allo specchio, determinare i raggi riflessi, e vedere dove questi ultimi si incontrano, poichè come abbiamo detto, dove s'intersecano due raggi anche tutti gli altri s' incrociano. La seconda cosa da notarsi è, che i raggi i quali si sono intersecati in p', procedono avanti divergenti, e giungono all'occhio dell'osservatore, come se veramente il punto luminoso fosse collocato in p': il che è quanto dire, che il foco conjugato d'un punto è l' immagine di esso.

749. Assi ottici secondarii. — Qualunque raggio luminoso, che passi per il centro di curvatura d' uno specchio sferico, battendo sulla superficie polimentata di questo, si riflette, percorrendo la medesima via che ha percorso nel venire; poichè in questo caso, siccome il raggio di luce incidente si confonde col raggio di curvatura, è zero l'angolo d' incidenza e per ciò anche l'angolo di riflessione deve venire eguale a zero. La via percorsa da questo raggio, ossia una retta, che, partendo dal punto luminoso, passa per il centro di curvatura, si chiama *asse ottico secondario*.

750. Immagini formate dagli specchi concavi. — Dopo l'esposto è cosa ben facile il dare spiegazione delle immagini che si ottengono con uno specchio concavo. Un oggetto qualunque, poniamo una piccola fiamma AB (fig. 347), sia collocata nell'asse principale BC dello specchio concavo MN ad una distanza BC maggiore del raggio di curvatura OC. Fra i raggi di luce che partono dall'estremo superiore A dell' oggetto, uno ve ne sarà, il quale segue la via dell'asse secondario AON, e che per ciò deve tornare in dietro dopo la riflessione, seguendo la medesima via NOA. Un altro pure ve ne sarà, che percorre la via AI parallela all' asse ottico principale; il quale raggio AI, dovendo passare dopo la ri-

flessione per il foco principale F (747), avra la direzione I a''. Questi due raggi riflessi si decussano in a e per conseguenza in a avrassi il foco conjugato dei raggi che partono da A, cioè a sarà l'immagine del punto A (748). Se si fa la medesima costruzione per tutti gli altri punti dell'oggetto AB, si trova che in ab si forma l'immagine di tutto l'oggetto AB, la quale immagine viene rovesciata ed impiccolita. Se si allontani di più l'oggetto AB dallo specchio, tenendolo però sempre sull'asse principale, il raggio incidente AI, e quindi il riflesso Ia'' non cambiano per nulla: divenendo poi più piccolo l'angolo AOB, e l'opposto al vertice CON, l'asse ottico secondario AN divergerà di meno dall'asse principale, ed il suo incontro a colla retta Ia'' succederà più vicino al foco principale, e quindi l'immagine ba si approssimerà al detto foco e comparirà più piccola; ond'è, che se l'oggetto fosse ad una distanza immensa, l'immagine sarebbe estremamente piccola, e si formerebbe quasi nel foco principale. Si può adunque stabilire questa prima legge: Quando l'oggetto è collocato ad una distanza dallo specchio concavo maggiore del raggio di curvatura, l'immagine si forma rovesciata ed impiccolita tra il centro di curvatura ed il foco principale, ed è tanto più piccola e più vicina a questo, quanto maggiore è la distanza dell'oggetto.

Avvicinisi questo allo specchio, ponendolo nel centro di curvatura O; rimarranno inalterati il raggio incidente AI ed il riflesso Ia'', e l'asse ottico secondario verrà ad essere perpendicolare al primario, incontrando Ia'' in a'. Invece di servirci dell'asse secondario potremo considerare un altro raggio di luce, e precisamente il raggio A'I', il quale, passando per il foco principale F, deve riflettersi parallelamente all'asse primario, ossia nella direzione I'a'. Siccome questo raggio iucontra Ia'' nel punto a', diremo che a' è l'immagine di A', e che quella di tutto l'oggetto è Oa'. In tal caso essa immagine è eguale in grandezza all'oggetto. Difatti, potendosi considerare l'arco IC come una retta normale ad FC, i triangoli rettangoli IFC, FA'O riesciranno eguali per essere IC$=$A'O, FC$=$FO; dunque avremo ancora $p=q$; ma $p=r$; per ciò sarà eziandio $q=r$, e conseguentemente saranno eguali i triangoli rettangoli A'OF, OFa'; dal che risulta essere OA'$=$Oa'. È adunque dimostrata questa seconda legge: Quando l'oggetto è collocato nel centro di curvatura, l'immagine si forma nel centro medesimo, è rovesciata e di grandezza eguale all'oggetto.

Avvicinando anche di più l'oggetto allo specchio, si ponga tra il centro di curvatura ed il foco principale in A''. Rimangono sempre inalterati il raggio incidente A''I ed il riflesso Ia'', e questo ultimo sarà intersecato dall'asse secondario A''Oa'' in a''; onde l'immagine in questo caso sarà $b''a''$ collocata ad una distanza dallo specchio maggiore del raggio di curvatara, e sarà rovesciata ed ingrandita. Si scorge dalla figura, che quanto più l'oggetto s'avvicina al suo foco principale, tanto più lontano si forma il punto a'', e che per ciò tanto più lontana ed ingrandita risulta l'immagine. Ecco adunque una terza legge: Quando l'oggetto è collocato tra il centro di curvatura ed il foco principale, l'immagine si forma ad una distanza maggiore del raggio di curvatura; è ro-

vesciata ed ingrandita, ed è tanto più lontana e grande, quanto più vicino è l'oggetto al foco principale.

Che se l'oggetto si ponga precisamente nel foco principale F, (fig. 348), l'asse ottico secondario A O ed il raggio riflesso I F riescono paralleli, e quindi non si possono mai incontrare: onde ha luogo una quarta legge: Quando l'oggetto è collocato nel foco principale, i raggi che partono da un punto di esso, dopo la riflessione sono paralleli e l'immagine non si forma.

Finalmente si collochi l'oggetto tra il foco principale ed il centro di figura in A'B': l'asse secondario A'O ed il raggio riflesso I F colle due linee parallele A'I, O F formano un trapezio, ed i due lati non paralleli non si possono incontrare se non con i loro prolungamenti dalla parte A'I. Il punto d'incontro avviene dietro allo specchio, cosicchè un occhio collocato avanti a questo riceve i raggi riflessi divergenti, come se venissero dal punto A''. Si vedrà adunque un'immagine dritta, ingrandita e collocata dietro allo specchio, ossia *virtuale*. Pertanto ha luogo quest'ultima legge: Allorchè l'oggetto si trova tra il foco principale e lo specchio, l'immagine è virtuale, dritta ed ingrandita.

751. Formole relative ai fochi negli specchi concavi. — Molte cose ora dimostrate graficamente possono essere espresse da una formola. Sia L (fig. 349) un punto luminoso, e la sua distanza LC dallo specchio concavo TC s'indichi con a. Essendo LT un raggio luminoso incidente ed OT il raggio di curvatura, che esprimeremo con r, sarà TR il raggio riflesso, ed in R si avrà il foco coniugato di L. Si voglia determinare la distanza RC, che chiameremo x. Poichè TO è una linea bisettrice del vertice T del triangolo LTR, deve tagliare la base LR in parti proporzionali ai due lati adiacenti; cioè si avrà

$$LT : TR = LO : OR.$$

LT è fisicamente eguale ad LC, ossia si può fare $LT = a$;
TR similmente può dirsi eguale ad RC, cosicchè sia $TR = x$;
Si ha ancora $LO = LC - OC$, cioè $LO = a - r$;
Finalmente è $OR = OC - RC$, vale a dire $OR = r - x$;
Sostituendo questi valori nella proporzione si ottiene

$$a : x = a - r : r - x$$

da cui si ricava $(a - r)\, x = a\,(r - x)$ e quindi $x = \frac{a r}{2a - r}$.

Con questa formola, dato il valore del raggio r e la distanza a del punto luminoso dallo specchio, possiamo sempre determinare la distanza dallo specchio, in cui si forma il foco coniugato od immagine. Si consideri, che la distanza dell'oggetto sia immensa, cosicchè i raggi luminosi vengano ad essere paralleli all'asse primario; dovremo fare $a = \infty$; onde la formola addiverrà $x = \frac{\infty r}{2\infty - r}$ e siccome r è una quantità immensamente piccola in confronto di 2∞, potremo trascurarla nel denominatore, per cui avremo $x = \frac{\infty r}{2\infty}$,

ossia $x = \frac{r}{2}$, come si era in altro modo dimostrato (747). Ma anzi che usare di queste formole per determinare la distanza dell'immagine o foco dallo specchio, è meglio di servirsi d'una proporzione, che così dalle formole suddette si deduce.

Essendo F il foco principale dello specchio, sarà FR = RC — FC, nella quale espressione sostituendo i valori analitici ora determinati si ottiene

$$FR = \frac{ar}{2a - r} - \frac{r}{2} = \frac{2ar - 2ar + r^2}{4a - 2r} = \frac{r^2}{4a - 2r}.$$

Dividendo per 4 numeratore e denominatore dell'ultima espressione, si ottiene

$$RF = \frac{\frac{r^2}{4}}{a - \frac{r}{2}}$$

che è quanto dire

$$RF = \frac{\overline{FC}^2}{LC - FC}, \text{ ossia } FR = \frac{\overline{FC}^2}{FL}$$

Da questa si deduce $FL : FC = FC : FR$.

Con questa proporzione possiamo in tutti i casi determinare con tutta facilità la distanza del foco coniugato dal foco principale. Difatti supponiamo primieramente, che i raggi luminosi provengano da una distanza illimitata, cioè siano paralleli, e si chiami con x la distanza del foco principale dal foco dei suddetti raggi: dovremo fare $FL = \infty$; onde sarà $\infty : FC = FC : x$, e quindi

$$x = \frac{\overline{FC}^2}{\infty} = 0$$

In secondo luogo sia FL limitato, ma l'oggetto sia dallo specchio ad una distanza maggiore del raggio di curvatura: sapendo essere $FC = FO$, si potrà fare $FL : FO = FO : x$; e poichè in questo caso è $FL > FO$, sarà ancora $FO > x$; cioè il foco coniugato si deve trovare fra il centro di curvatura ed il foco principale.

In terzo luogo consideriamo i raggi riflessi provenienti da un punto raggiante situato nel centro di curvatura dello specchio. In questo caso la proporzione diviene $FO : FO = FO : x$, $x = FO$; vale a dire il foco si forma nel centro stesso di curvatura.

Si consideri in quarto luogo il caso, in cui il punto raggiante stia tra il centro di curvatura ed il foco principale: ripresa la proporzione $FL : FO = FO : x$, si comprende che, siccome in questo caso si ha $FL < FO$, dovrà esser pure $FO < x$; la qual cosa ci insegna il foco coniugato trovarsi al di là del centro di curvatura.

Che se in un quinto caso il punto luminoso stia nel foco prin-

cipale, la proporzione verrà ad essere $0 : FO = FO : x$, $x = \frac{\overline{FO}^2}{0} = \infty$ cioè i raggi si riflettono paralleli all'asse ottico.

Finalmente se il punto raggiante stia tra il foco principale ed il centro ottico, dovremo chiamare negativa la distanza tra il foco principale ed il punto luminoso, perchè questo relativamente al detto foco sta nella parte opposta a quella, in cui si trovava nei casi precedenti; per la qual cosa sarà $- FL : FO = FO : x$, $x = - \frac{\overline{FO}^2}{FL}$. Essendo $\frac{\overline{FO}^2}{FL} > FC$, e dovendosi prendere negativamente, cioè da F verso C, si dovrà conchiudere, aver luogo il foco coniugato dietro allo specchio, ossia essere virtuale.

752. Rapporto tra le grandezze dell'oggetto e delle immagini in uno specchio concavo. — Si voglia determinare il rapporto, che passa tra la grandezza dell'oggetto e quella dell'immagine. Sia AB (fig. 347) l'oggetto, ed *ab* l'immagine, e s'indichino le loro grandezze con O ed I. Per i triangoli simili AOB, O*ba* si avrà $O : I = OB : Ob$. Per quello poi, che abbiamo poco fa veduto, si ha ancora $FB : FO = FO : Fb$, da cui nasce quest'altra proporzione $FB : FO = FB - FO : FO - Fb$, ossia $FB : FO = OB : Ob$; onde confrontando l'ultima colla prima, si ottiene $O : I = FB\ FO$, cioè $O : I = BC - FC : FO$, od ancora $O : I = 2BC - 2FC : 2FO$. Posti in questa i simboli usati nel paragrafo precedente, essa passerà ad essere $O : I = 2a - r : r$, ovvero $O : I = 1 : \frac{r}{2a - r}$, e moltiplicando per a i termini del secondo rapporto, si avrà $O : I = a : \frac{ar}{2a - r}$. Questa insegna, che le grandezze dell'oggetto e dell'immagine stanno fra loro come le rispettive distanze dallo specchio.

753. Caustica. — Abbiamo fin qui sempre supposto, che l'apertura dello specchio concavo sia piccola (746); il che è condizione necessaria, perchè i raggi emanati da un punto vadano dopo la riflessione ad unirsi in un punto medesimo. Si supponga invece, che l'apertura dello specchio sia assai grande (fig. 350): i raggi, che vengono da una distanza immensa, e che per ciò sono fra loro paralleli, non si intersecheranno già dopo la riflessione in uno stesso punto, ma quelli, che battono vicino al lembo dello specchio, incontreranno l'asse principale molto più vicino al centro ottico di quello che facciano i raggi battenti nello specchio presso quel centro, i quali vanno veramente al foco principale. I raggi riflessi si incrociano in più punti fra loro, e per ciò si ha uno spazio rischiarato e limitato da una superficie di rivoluzione generata dalla linea PFG, al quale spazio dassi il nome di *caustica*.

754. Specchio convesso. — Suo foco principale. — Sia MN (fig. 351) uno specchio convesso, ed in O si abbia il suo centro di curvatura. OCX rappresenti l'asse ottico principale, e battano sullo specchio raggi paralleli al detto asse. Si dimostra, che essi raggi si riflettono divergenti, come se partissero da un medesimo

punto F situato alla metà del raggio di curvatura sull'asse principale; il qual punto dicesi *foco principale virtuale*. Si consideri uno di questi raggi incidenti BM; al punto d'incidenza M, si conduca il raggio di curvatura OM prolungato in A: sarà MA la perpendicolare, che col raggio BM fa l'angolo d'incidenza i. Si guidi la linea MR tale, che faccia l'angolo $r = i$, e sarà r l'angolo di riflessione, cioè il raggio incidente BM si rifletterà, seguendo la via MR. Si faccia la stessa costruzione per un altro raggio qualunque LN: si vedrà che il relativo raggio riflesso è NV. Si scorge apertamente, che i raggi riflessi sono divergenti fra loro, e che, se si prolunghino, vanno i prolungamenti a terminare in un medesimo punto F dell'asse principale OX. Rimane a dimostrarsi, che tal punto trovasi precisamente alla metà del raggio di curvatura OC. Si osservi il triangolo OFM isoscele, perchè $r = c$, $i = v$, onde essendo $r = i$, sarà ancora $c = v$. Sarà quindi FO = FM, e siccome per la poca ampiezza dello specchio FM deve stare molto vicino ad FC, di poco diversificherà da questo; per il che potremo prendere FC in vece di FM, e conseguentemente sarà FC = FO, come volevasi dimostrare.

755. Fochi coniugati virtuali. — Tutti i raggi, che partono da un punto luminoso posto avanti ad uno specchio convesso si riflettono in modo, come se venissero emanati da un altro punto collocato dietro allo specchio. Sia difatti P (fig. 352) posto sull'asse principale dello specchio convesso MN, il cui centro di curvatura è O. Conducansi dal punto P allo specchio molti raggi luminosi, e si costruiscano gli angoli di riflessione eguali a quelli d'incidenza, come vedesi in figura. Noi verificheremo, che i prolungamenti dei raggi riflessi s'incontrano realmente in un medesimo punto P′ in guisa, che un occhio collocato avanti allo specchio riceve i detti raggi, come se veramente provenissero da P′; ond'è che in questo punto vede l'immagine di P. Al detto punto P′ dassi il nome di *foco coniugato virtuale*.

756. Immagini formate da uno specchio convesso. — Poniamo nell'asse principale di uno specchio convesso MN (fig. 353) un oggetto AB, e conduciamo dal punto A un raggio luminoso AF parallelo all'asse ottico principale: questo raggio si rifletterà come se venisse dal foco principale F, cioè nella direzione FR. Si conduca l'asse secondario AO, e si consideri, che un raggio, il quale vada in questa direzione, si deve riflettere per la stessa via, che ha percorso nell'andare. Queste due linee s'intersecano in a, e per ciò gli altri raggi di luce, che pure partono da A, si debbono riflettere, come se emanassero da a: dunque in a si forma l'immagine del punto A. Ripetendo l'istessa costruzione per gli altri punti dell'oggetto AB, si renderà palese essere ab l'immagine virtuale dell'oggetto suddetto. Se si avvicini questo allo specchio, portandolo in A′B′, in A″B″, colla solita costruzione si trova essere le relative immagini $a'b'$, $a''b''$, e da tutto ciò si potrà dedurre, che in uno specchio convesso l'immagine è sempre virtuale, dritta ed impiccolita; ed è tanto più piccola, quanto più l'oggetto è lontano dallo specchio.

757. Formola relativa ai fochi virtuali. — La formola

$x = \frac{ar}{2a-r}$ data per i fochi degli specchi concavi (751) facilmente si adatta per i fochi degli specchi convessi. Invero se si è fatto positivo il raggio di curvatura dello specchio concavo, nel quale esso raggio cade nella parte polimentata; per esprimere, che nello specchio convesso il raggio di curvatura cade nella parte opposta alla levigata, dovremo fare il medesimo negativo. Adunque le suddette formole si modificano in modo da adattarle allo specchio convesso col porre in esse $-r$ in vece di r: il che eseguendo, si ottiene $x = \frac{-ar}{2a+r}$, e per il foco principale $x = -\frac{r}{2}$.

758. Rapporto tra l'immagine e l'oggetto in uno specchio convesso. — Per conoscere qual rapporto passi tra le grandezze dell'oggetto e della sua immagine formata in uno specchio convesso, si deve riprendere la proporzione del paragrafo 752,

$$O : I = 2a - r : r,$$

nella quale, onde adattarla allo specchio convesso, devesi cambiare il segno al raggio r; cosicchè sarà

$$O : I = 2a + r : -r; \quad O : I = 1 : -\frac{r}{2a+r}; \quad O : I = a : -\frac{ar}{2a+r},$$

la quale ci dice, che negli specchi convessi ha luogo, lo stesso rapporto come nei concavi, che cioè le grandezze dell'oggetto e dell'immagine stanno fra loro come le relative distanze dallo specchio.

759. Luce diffusa. — Notammo relativamente ai raggi di calore (700), che, battendo essi in una superficie, non tutti si riflettono regolarmente, ma in parte si diffondono, retrocedendo in tutte le direzioni, come se la superficie riflettente fosse essa stessa una sorgente di calore. Lo stesso avviene pei raggi luminosi, i quali, battendo in uno specchio non tutti sono da questi regolarmente riflessi, ma una parte rimangono diffusi. Ponendoci avanti ad uno specchio, noi contemporaneamente vediamo la nostra immagine e la lastra riflettente: quella è visibile per luce riflessa, questa per luce diffusa.

CAPO III.

LEGGI DELLA RIFRAZIONE DELLA LUCE

760. *Rifrazione della luce* — 761. *Leggi della rifrazione* — 762. *Indice di rifrazione* — 763. *Passaggio della luce dall'acqua nell'aria* — 764. *Riflessione totale* — 765. *Angolo limite* — 766. *Direzione d'un raggio luminoso, che attraversa una lamina a facce parallele* — 767. *Direzione d'un raggio, che attraversa due lamine parallele d'indice diverso* — 768. *Direzione d'un raggio, che attraversa un prisma* — 769. *Deviazione minima.*

760. Rifrazione della luce. — Fu detto (734), che la luce nel vuoto od in un mezzo d'uniforme densità si propaga in linea retta:

ma se essa passa da un mezzo ad un altro, come dall'aria nell'acqua o nel cristallo, non più prosegue nella medesima via, bensì, nel modo stesso d'un sistema qualunque di onde sferiche (84), si rifrange, cioè si avvicina o si allontana dalla perpendicolare abbassata al punto, in cui il raggio di luce passa da un mezzo all'altro, a seconda che va da un mezzo meno denso ad uno più denso, o da questo a quello. Un corpo poi dicesi più rifrangente d'un altro, quando a parità di circostanze fa avvicinare alla normale il raggio di luce, che, escendo dall'altro corpo, penetra in esso.

La rifrazione della luce è comprovata dai seguenti esperimenti. In un recipiente DE (fig. 354) si collochi un oggetto, ad esempio una moneta *a*, ed un osservatore si allontani in modo, che, collocandosi in O, non veda più la moneta, perchè i raggi *am*, *an* passano al disopra del suo occhio, e gli altri sono intercettati dalle parti opache del recipiente. Se allora si faccia versare acqua nel vaso DE, la moneta si fa visibile, perchè i raggi *am*, *an*, rifrangendosi, si allontanano dalla perpendicolare, e prendendo le direzioni *hq*, *ge*, giungono all'occhio. E poichè questi raggi rifratti si andrebbero a riunire in *b*, l'occhio riceve i raggi come se realmente provenissero da questo punto, e per ciò in *b* vede la moneta, che apparisce per conseguenza sollevata. S'immerga obliquamente una parte d'un bastone nell'acqua; questo sembrerà spezzato; perchè mentre la parte del bastone che sta fuori del liquido vedesi nel posto, in cui realmente si trova, le parti immerse si veggono, per la ragione poco fa detta, un poco elevate.

761. Leggi della rifrazione. — È cosa ben naturale, che, consistendo la luce in un sistema di onde (734), la sua rifrazione debba avvenire secondo le leggi della rifrazione di un sistema di onde qualunque (85): cioè 1° il raggio incidente, il rifratto, e la perpendicolare condotta al punto d'incidenza giacciono in un medesimo piano; 2° per i medesimi mezzi passa un rapporto costante tra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione. Quantunque queste leggi siano state riguardo alla luce scoperte dall'olandese Snellius, pure hanno il nome di leggi di Cartesio, perchè questi le ha dimostrate col seguente apparato. Si prenda un pallone di vetro perfettamente sferico, e per mezzo d'un carbone acceso se ne tagli la metà, cosicchè risulti un recipiente semisferico, il quale, essendo perfettamente empiuto d'acqua distillata, si fa sostenere da un montante anulare (fig. 355). Una lamina di sottilissimo metallo copre il liquido, ed ha un'apertura O, che coincide col centro del recipiente semisferico. Posto questo in una camera oscura, vi si fa penetrare un raggio solare, il quale vada a cadere nel punto O. Sia IO la direzione di tal raggio, che, entrando nell'acqua, si deve rifrangere, ma non quando dall'acqua passa nel vetro, e da questo emerge nell'aria, poichè il raggio di luce, coincidendo col raggio della sfera, cade perpendicolarmente alle pareti del recipiente, e si sa che un'onda non devia, quando è perpendicolare alla superficie *dirimente*, che separa cioè i due mezzi (85). Il raggio rifratto prenderà la direzione OR. Per determinare la vera direzione dei suddetti raggi, incidente e rifratto, si prenda un regolo graduato in centimetri e millimetri, e si disponga oriz-

zontalmente ad una certa altezza sopra il livello dell' acqua. Due fili a piombo sostenuti dal regolo possono essere spostati a piacere lateralmente. Si ponga uno di essi in M in modo, che rappresenti la perpendicolare MO alla superficie orizzontale del liquido, e l'altro si porti su e giù per il regolo, finchè non si rinvenga un punto A, in cui posto il filo, il corpo pesante appeso a questo sia toccato dal raggio rifratto. Dopo ciò si collochi l'occhio nel piano, che contiene le linee IO, MO, e si vedrà, che su questo medesimo piano giace pure la retta AR: vi si troverà pertanto eziandio il raggio rifratto OR, il quale ha sul piano suddetto due suoi punti O, R; ed ecco dimostrata la prima legge.

Per dimostrare la seconda, bisogna esattamente misurare le rette IM, MO, MA, AR, e si avranno così tutti gli elementi necessarii per costruire in carta una figura, che rappresenti esattamente l' andamento dei raggi. Su di una linea orizzontale XY si trasportino, una seguita dall'altra, le linee IM, MA: dai punti M ed A si abbassino due normali eguali la prima ad MO, la seconda ad AR, e si guidino le rette IO, OR. La prima di queste rappresenterà il raggio incidente, l' altra il rifratto. Con centro in O e con raggio arbitrario si descriva una circonferenza, la quale taglierà il raggio incidente in un punto qualunque P, ed il rifratto in un punto L. Da questi due punti si guidino sulla verticale MO prolungata le normali PV, LN: sarà la prima il seno dell' angolo d' incidenza, la seconda il seno dell' angolo di rifrazione. Divisa la PV in quattro parti eguali, e con una di queste misurata la LN, si vede esservi contenuta tre volte esattamente : onde potremo dire, che in questo caso il seno dell'angolo d'incidenza nell'aria sta al seno dell' angolo di rifrazione nell'acqua come 4 sta a 3. Facciasi cadere nel punto O un altro raggio di luce I'O; si avrà un altro raggio rifratto OR', e ripetendo la costruzione ora descritta, si troverà che il rapporto dei nuovi seni I'M, KS è pure 4 : 3. Si conchiude pertanto, che per i medesimi mezzi passa un rapporto costante tra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione; il qual rapporto per aria ed acqua è 4 : 3.

762. Indice di rifrazione. — Dicesi indice di rifrazione il quoto, che si ottiene, dividendo il seno dell'angolo d'incidenza per quello dell'angolo di rifrazione, e si suole indicare con n; onde si avrà $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$. Quando si nomina l' indice di rifrazione d' un corpo senza esprimere qual sia il mezzo, da cui viene il raggio incidente, si deve intendere, che la luce passi dal vuoto in quella sostanza. Ecco gl'indici d'alcuni corpi :

Aria	1,0003	Cornea dell' occhio umano		1,351
Acqua	1,336	Umore acqueo		1,342
Crown-glass	1,563	Umore vitreo		1,348
Flint-glass	1,640	Cristallino	Strato esterno	1,405
Solfato di carbonio	1,678		Strato medio	1,429
Diamante	2,755		Nucleo	1,454

763. Passaggio della luce dall'acqua nell'aria. — Il rapporto che passa tra i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione,

quando la luce va dal mezzo più denso al meno denso, è il contrario di quello, che ha luogo, quando la luce si trasmette dal meno denso al più denso. Ad esempio, andando la luce dall'aria nell'acqua, abbiamo veduto essere questo rapporto 4 : 3; ebbene, sarà il rapporto 3 : 4, se il raggio luminoso passa dall' acqua nell' aria. Per la qual cosa deve dirsi, che il seno dell'angolo, che ha luogo nell'aria, sia questo d'incidenza o di rifrazione, è sempre come 4, ed il seno dell'angolo che ha luogo nell'acqua, sia di rifrazione o di incidenza, è sempre come 3. Il passaggio dei raggi luminosi dall'acqua nell'aria si esperimenta col recipiente emisferico della precedente figura. Si copra la metà B (fig. 356) della superficie esterna di esso vaso con nero-fumo, e quindi si tolga il nero deposito in un punto. Prima di empire il vaso con acqua, vi si ponga il solito coperchio metallico forato in O. Un'altra sottile lamina *e* sia retta da un montante mobile. L'occhio posto in *e* dietro al foro della laminetta vedrà a traverso dei pertugi *e* ed O la fiaccola I per il raggio rettilineo I*e*. Si empia ora di acqua il vaso emisferico, e tosto l'occhio cesserà di vedere I, se prosegue a stare in *e*; ma la vedrà se si abbassi in *e'*, perchè allora giungerà ad esso il raggio, che, essendosi rifratto nel passare dall'acqua nell'aria, ha presa la direzione O*e'*. È chiaro, che l'angolo NO*e* è eguale all'angolo di incidenza, perchè gli è opposto al vertice, e che l' angolo NO*e'* è l' angolo di rifrazione nell' aria. Si misurino con un regolo graduato le distanze OM, ON' e le altezze *e*M, *e'*N'. Con questi dati potremo tracciare in carta l'andamento dei raggi, e con costruzione consimile a quella descritta nel paragrafo 761 potremo determinare il rapporto dei seni degli angoli d' incidenza e di rifrazione, che troveremo essere 3 : 4.

764. Riflessione totale. — Se invece di porre la fiaccola in I, si collocasse in I' e si rimovesse in un punto più alto il nero-fumo del recipiente, in guisa che sia più obliqua la direzione del raggio di luce I'O; essendosi con ciò ampliato l'angolo d'incidenza, più grande pure verrebbe quello di rifrazione; cioè il raggio O*e'* si dovrebbe allontanare di più dalla verticale ON. Seguitando sempre più ad accrescere l'angolo d'incidenza e conseguentemente anche quello di rifrazione, si arriverà finalmente ad ottenere un angolo d'incidenza tale, da corrispondere ad un angolo di rifrazione retto, nel qual caso il raggio emerso dall'acqua andrebbe radendo la superficie dirimente. Se si aumenti anche di più l' angolo d' incidenza, dovrebbe formarsi un angolo di rifrazione maggiore del retto; cioè il raggio I''O non emergerebbe dall'acqua; ma invece giunto alla superficie dirimente, si rifletterebbe nella direzione O*e''*; l'angolo di riflessione verrebbe ad essere eguale a quello d'incidenza, ed un occhio collocato in *e''*, guardando dal basso in alto, vedrebbe in I''' l'immagine di I'' (744). Questa riflessione prende il nome di *riflessione totale*, perchè è la più completa che dar si possa.

765. Angolo limite. — A quell'angolo d'incidenza, a cui corrisponde nel mezzo meno denso un angolo di rifrazione retto, dassi il nome d'*angolo limite*, il quale per acqua ed aria è di 48°,35'. Si può quest'angolo determinare coll'esperienza, ma è facile cosa costruirlo graficamente. Supponiamo che un raggio incidente vada radendo la

superficie di livello dell'acqua HO (fig. 357). Essendo in questo caso l'angolo d'incidenza di 90°, e quindi il suo seno eguale all'unità per la formola $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ (762) avremo $n = \frac{1}{\text{sen } r}$, $\text{sen } r = \frac{1}{n}$; e poichè per i mezzi acqua ed aria è $n = \frac{4}{3}$, sarà nel nostro caso $\text{sen } r = \frac{3}{4}$. Avremo adunque l'angolo di rifrazione col costruirlo in modo che abbia un seno eguale a $\frac{3}{4}$ del raggio di curvatura. Col centro in O e con un raggio arbitrario che prendiamo come unità, descriviamo una circonferenza e quindi dividiamo il raggio HO in quattro parti eguali. Dal punto n, dove termina la prima parte verso H, s'innalzi la perpendicolare nP, e da P si guidi la PS normalmente al diametro verticale NN'. È manifesto che PS è eguale a $\frac{3}{4}$ di HO. Si conduca il diametro PL e la linea LT perpendicolare ad NN'. Essendo LT = PS = $\frac{3}{4}$ del raggio, l'angolo LOT, di cui LT è il seno, sarà l'angolo di rifrazione, il cui angolo corrispondente d'incidenza nell'aria è retto. Ma se invece di essere HO raggio incidente ed OL raggio rifratto, fosse OL raggio incidente entro all'acqua; sarebbe HO il raggio rifratto nell'aria (763); il che è quanto dire, essere LON' l'angolo limite cercato. Conoscendosi l'indice di rifrazione n, possiamo ancora dedurre il valore dell'angolo limite r dalla formola $\text{sen } r = \frac{1}{n}$, servendoci delle tavole dei seni.

766. Direzione d'un raggio luminoso, che attraversa una lamina a facce parallele. — Sia LFSV (fig. 358) una lastra di vetro a facce parallele, il cui indice di rifrazione relativamente all'aria è $\frac{3}{2}$. Consideriamo un raggio incidente IO, e proponiamoci di determinare la via che percorrerà il raggio il quale emerge dalla parte opposta della lastra. Dal punto O si elevi una perpendicolare ON, e fatto centro nel medesimo punto O, si descriva una semiperiferia che intersechi in un punto I il raggio incidente. La perpendicolare IQ condotta alla normale NO sarà il seno dell'angolo d'incidenza. Si divida IQ in tre parti eguali, e dal punto K, dove cade la prima divisione s'innalzi la perpendicolare KP, e quindi si conduca PO prolungata fino ad R. Ognuno vede, che l'angolo PON ha un seno eguale a KQ, cioè a $\frac{2}{3}$ di IQ: sarà adunque esso angolo eguale a quello di rifrazione dentro al vetro, e per ciò sarà OR il raggio rifratto. Giunto questo in R, emergerà dal vetro e si rifrangerà di nuovo allontanandosi dalla perpendicolare RN'. Fatto centro in R si descriva una semiperiferia, la quale incontrerà il prolungamento di OR in G, e sarà GRT eguale all'angolo d'incidenza dentro al vetro. Si divida in due parti eguali il seno GT del

detto angolo, e rammentando che il seno dell'angolo di rifrazione nell'aria deve essere eguale a tre di queste parti aggiungeremo a TG un'altra parte Gp eguale ad una delle precedenti, da p eleveremo la verticale pM, ed infine condurremo la linea R M e così avremo costruito l'angolo di rifrazione T R M. L'andamento adunque del raggio emerso sarà R M, il quale, se si prolunghi, lo vedremo essere parallelo al raggio incidente I O. Difatti, gli angoli M R T, N O I sono eguali, perchè hanno seni eguali, e sono ambedue acuti; di più hanno i lati N O, R N' paralleli; debbono quindi avere paralleli gli altri due lati. È per questo che gli oggetti che si veggono attraverso di un vetro a facce parallele, non appariscono alterati, ma solamente un poco spostati lateralmente.

767. Direzione di un raggio che attraversa due lamine a facce parallele e d' indice diverso. — Se due lamine trasparenti a facce piane parallele siano poste l'una a contatto dell'altra: ci mostra l'esperienza, che un raggio luminoso, che le attraversi, esce parallelo al raggio incidente, quantunque diversi siano gli indici di rifrazione delle due sostanze. Questo fatto, che può verificarsi col fare cadere in una camera oscura un piccolo fascio di raggi solari sopra due lamine soprapposte, porge il mezzo di potere tracciare il cammino percorso dal raggio nell'interno di questo sistema rifrangente. Siano (fig. 359) A B C D, C D E F le due lamine trasparenti, e per concretare le idee si supponga che l'indice di rifrazione della prima sia $\frac{3}{2}$ e $\frac{9}{5}$ quello della seconda. O I sia il raggio di luce incidente, che fa colla normale l'angolo d'incidenza i. Con il metodo praticato di sopra ed indicato dalla figura si determini il raggio rifratto OR, il quale fa colla medesima normale l'angolo di rifrazione r si avrà:

$$\frac{\text{sen}\, i}{\text{sen}\, r}=\frac{3}{2}, \quad \text{e quindi sen}\, i=\text{sen}\, r\times\frac{3}{2} \quad \ldots . (a).$$

Supponiamo adesso, che sopra E F cada un raggio Q P parallelo ad I O, che faccia cioè colla normale un angolo eguale ad i. Con il solito metodo si troverà essere il raggio rifratto P M, che fa colla perpendicolare l'angolo di rifrazione r', e si avrà

$$\frac{\text{sen}\, i}{\text{sen}\, r'}=\frac{9}{5}, \quad \text{sen}\, i=\text{sen}\, r'\times\frac{9}{5} \quad \ldots . (b).$$

Riflettasi ora, che se M P fosse raggio d'incidenza nell'interno della lamina, P Q sarebbe il raggio rifratto nell'aria. Si consideri ancora, che dovendo il raggio I O escire dal sistema rifrangente parallelamente a P Q, l'andamento del raggio nella lamina E D deve essere parallelo ad M P. Pertanto dal punto R si conduca la linea R S parallela ad M P, e dal punto S la S T parallela a P Q: la linea poligona O R S T sarà il cercato andamento del raggio. Condotta per il punto R la linea N N' normale a C D, l'angolo N R O sarà eguale ad r, e l'angolo N' R S sarà eguale ad r'. Adunque l'indice di rifrazione tra il primo ed il secondo mezzo sarà dato dal rapporto $\frac{\text{sen}\, r}{\text{sen}\, r'}$.

Si riprendano ora le due equazioni (*a*), (*b*); essendo identici i primi membri di queste, potremo fare $\text{sen } r \times \frac{3}{2} = \text{sen } r' \times \frac{9}{5}$, dalla quale si ricava $\frac{\text{sen } r}{\text{sen } r'} = \frac{^9/_5}{^3/_2}$. Questa dimostra che l'indice di rifrazione tra il primo ed il secondo mezzo è eguale al rapporto dell' indice di rifrazione del secondo all' indice del primo.

768. Direzione d'un raggio luminoso che attraversa un prisma triangolare. — Si fa uso in ottica di prismi triangolari di vetro, i quali diconsi rettangolari, isosceli ecc., secondo che è un triangolo rettangolo, od isoscele ecc. la sezione fatta perpendicolarmente agli spigoli. Presenti ABC (fig. 360) la sezione d'un prisma di vetro, il cui indice di rifrazione sia $\frac{3}{2}$. IO sia un raggio di luce incidente, il cui cammino attraverso del prisma si voglia tracciare. Abbassata al punto d'incidenza O la perpendicolare NO, e fatto con un raggio arbitrario e con centro in O un arco di cerchio NI, si tiri la IP perpendicolare ad ON, ed essa retta IP si divida in tre parti eguali: dal fine della prima parte più vicina al raggio luminoso si innalzi una normale che toccherà l'arco in V. Congiunto il punto V con O mediante la retta VO, che si prolunga, si avrà in OR la direzione del raggio rifratto dentro al vetro. Giunto questo in R, emerge dal prisma, allontanandosi dalla perpendicolare RN'. Per determinare l'andamento del raggio emerso, si prolunghi OR in T, e col centro R e raggio arbitrario si descriva l'arco N'E: da T si conduca una perpendicolare ad RN', che deve prolungarsi oltre a T per la metà di essa normale TK. Dall'estremo del prolungamento si guidi una normale che anderà a tagliare l'arco in E. Condotta in fine la RE, sarà questa la via che percorrer deve il raggio di luce emerso dal prisma. Il deviamento del raggio luminoso è notato dall' angolo EDS, che facilmente può misurarsi; e manifestamente si scorge che tal deviamento tende a far piegare il raggio suddetto verso la base BC della sezione del prisma.

769. Deviazione minima. — Variando l' angolo, che fa il raggio incidente colla normale nella faccia AB, si cambia anche la deviazione del raggio rifratto, la quale viene ad essere minima, allorchè OR (fig. 361) è parallela alla base. Basta difatti tirare OR parallelamente a BC, e quindi costruire col metodo espresso in figura il raggio incidente IO ed il raggio rifratto RE: misurisi l'angolo di deviazione D, e si troverà sempre minore di quello che ha luogo in qualunque altro caso. Si può anche sperimentalmente confermare tale verità. Basta a questo fine introdurre in una camera oscura un raggio di luce colorata, per esempio rossa, e farlo passare per un prisma. Si osservi il raggio emerso dal prisma, e poscia fatto rotar quest'ultimo in un senso e nell'altro, verremo a trovare una posizione tale del prisma, nella quale la detta deviazione è minima. Allora una parte della luce incidente si fa battere nella superficie esterna della base di esso prisma; si vedrà che il raggio riflesso è parallelo al rifratto, come pure la figura dimostra dover essere. Il che conferma, che l'andamento del raggio è precisamente quello, che si è graficamente determinato.

CAPO IV.

DELLE LENTI

770. Varie specie di lenti. — Si chiamano *lenti* i corpi rifrangenti limitati da superficie sferiche. Le lenti si dividono in due classi, cioè in *convergenti* e *divergenti:* le prime fanno convergere i raggi paralleli, che le attraversano, mentre le seconde li fanno divergere. Le convergenti hanno maggiore ertezza al centro che ai lembi, le divergenti al contrario sono più erte all'orlo, meno al centro. Le prime sono di tre specie, vale a dire *biconvesse*, che hanno convesse tutte due le facce, *piano-convesse*, aventi una faccia piana ed una convessa, *minischi convessi* o *convergenti*, una cui faccia è convessa, l'altra concava, in modo però che la convessità superi la concavità. Anche le lenti divergenti sono di tre specie, cioè *biconcave*, che hanno ambedue le facce concave, *piano-concave*, con una superficie piana e l'altra concava, e *minischi divergenti*, in cui la concavità d'una faccia supera la convessità dell'altra. Si chiama *asse ottico principale* d'una lente un retta, che congiunga i centri di curvatura delle due facce; che se la lente ha una superficie piana, l'asse principale è la retta, che, passando per il centro di curvatura della faccia curva, cade normalmente sulla faccia piana. Nel dare la teoria delle lenti parleremo solo delle biconvesse e delle biconcave, potendosi ciò, che dirassi di queste, applicare alle altre della medesima classe. È cosa facile poi il conoscere la ragione, per cui le lenti biconvesse facciano convergere i raggi fra loro, e le biconcave li facciano divergere. Invero, una lente biconvessa può considerarsi come composta d'una serie di coppie di prismi colle basi unite al centro. Adunque tutti i raggi luminosi paralleli all'asse, battendo in questi prismi, saranno due volte piegati verso le basi (768), ossia verso l'asse; onde convergeranno fra loro. Anche le lenti biconcave potranno considerarsi come costituite da una serie di coppie di prismi, ma colle basi rivolte al lembo; per il che i raggi paralleli all'asse, venendo piegati due volte verso le basi, cioè verso l'orlo della lente, dovranno escire divergenti.

771. Lenti convergenti — Fochi coniugati. — Tutti i raggi di luce emanati da un punto, dopo di aver attraversata una lente convergente, si riuniscono in un medesimo punto. Questo principio

è di sommo vantaggio, poichè ogni qual volta ci si darà il caso di dovere trovare il punto, in cui si vanno ad intersecare i raggi emersi da una lente convergente, ci basterà determinare l'andamento di due soli di detti raggi rifratti, e vedere dove essi si incrociano. Sia P (fig. 362) un punto luminoso, che tramandi un raggio PI alla lente biconvessa AB, il cui indice di rifrazione è $\frac{3}{2}$. Noi determineremo con il solito metodo (768) l'andamento del raggio rifratto. Si conduca cioè al punto I dal centro di curvatura C' una linea, la quale prolungata ci darà la perpendicolare IN: quindi PIN sarà l'angolo d'incidenza. Dal punto I, come centro, si descriva l'arco ND, e dal punto D, dove quest'arco taglia il raggio incidente, si conduca la linea D*z* normale ad IN. Divisa essa normale in tre parti uguali, dalla prima divisione, partendo da D, si spicchi la perpendicolare *io*: dal punto *o* si guidi la retta *o*I; il prolungamento IL di questa ci darà l'andamento del raggio nell'interno della lente. Pervenuto il raggio rifratto in L, emergerà dalla lente rifrangendosi di nuovo, e per determinare la via, che prende, si prolunghi il raggio in T e si conduca dal centro di curvatura C una linea al punto L, la quale prolungata forma la normale LS. Sarà SLT un angolo eguale a quello d'incidenza dentro al vetro. Fatto centro in L descrivasi un arco di cerchio *n*R, che taglierà in T il prolungamento di IL, e dal punto T si guidi la TS perpendicolare ad L*n*. Si divida ST in due parti eguali, ed una di queste si trasporti da T in V. Dall'estremo V di tale prolungamento si tiri una perpendicolare, che incontrerà l'arco in R. La linea LR sarà l'andamento del raggio di luce emerso dalla lente. Operando nello stesso modo per qualunque altro raggio, che parta da P, ci verrà dato di vedere, che tutti i raggi luminosi emessi da P s'intersecano in un medesimo punto P'. Si suol dare a questo il nome di *foco coniugato* del punto P, perchè se il punto luminoso si ponesse in P', il foco si formerebbe in P.

772. Foco principale. — Se la sorgente luminosa s'immagini portata ad un'immensa distanza, i raggi incidenti sulla lente si dovrebbero considerare come paralleli: in questo caso particolare, come nel caso precedente, tutti i raggi dopo la rifrazione s'intersecano in un medesimo punto. Supposto che i raggi incidenti procedano parallelamente all'asse ottico principale e determinato con il consueto metodo grafico l'andamento di due raggi rifratti, si vedrà, che questi due, e perciò tutti i raggi rifratti, si vanno ad intersecare in un punto dell'asse principale, a cui dassi il nome di *foco principale*, chiamandosi *distanza focale* quella, che passa tra il detto foco e la lente. Il foco dei raggi paralleli può determinarsi anche sperimentalmente. Si faccia cadere sopra alla lente convergente collocata in una camera oscura un fascio di raggi solari parallelo all'asse. Vedremo, a partire dalla lente, disegnarsi nell'aria un cono di luce, al cui vertice sta congiunto quello d'un altro cono formato dai raggi, che dopo essersi intersecati proseguono divergenti il cammino. È dunque il detto vertice il foco principale, nel quale collocato un corpo opaco, questo sarà vivamente illuminato.

773. Centro ottico d'una lente. — Un raggio di luce, che coincida coll'asse principale d'una lente, attraversa questa senza rifrangersi, perchè cade perpendicolarmente alle due superficie dirimenti. Ma anche tra gli altri raggi vi sono di quelli, che attraversano la lente senza provare una deviazione angolare, e sono i raggi, che nell'entrare e nell'escire dalla lente s'imbattono in elementi delle due superficie, i cui piani tangenti sono paralleli fra loro, poichè si è dimostrato (766) come un raggio di luce in un mezzo rifrangente a superficie parallele non devia, ma solamente subisce uno spostamento laterale. Ciò notato, facciamoci a ricercare, quale debba essere la direzione dei raggi incidenti, perchè non siano dalla lente deviati. Dai centri di curvatura C, C' (fig. 363) si conducano alla lente M, M' i due raggi di curvatura CD, C'B paralleli fra loro, e gli estremi di questi D, B si congiungano assieme mediante la retta BD. Il punto O, in cui questa linea taglia l'asse ottico principale CC', dicesi *centro ottico* della lente, il quale divide l'asse in due parti proporzionali ai due raggi di curvatura, come facilmente si deduce dalla somiglianza dei triangoli COD, BOC'. Ora diciamo che un raggio di luce LB, il quale, rifrangendosi nell'entrare nella lente, passa per il centro ottico O, esce dalla medesima senza subire deviazione angolare. Invero, considerando BD come fosse un raggio di luce, con il metodo usato nel paragrafo 769 si tracci l'andamento LB del raggio prima dell'ingresso nella lente, e l'andamento DQ, che avrà dopo l'egresso da questa; e si vedrà, che LB e DQ sono veramente fra di loro paralleli. Prolungati il raggio incidente ed il rifratto nell'interno della lente, questi prolungamenti intersecano l'asse principale nei punti N, N', che si dicono *punti nodali*. Conducasi un'altra linea qualunque, che passi per O, e considerandosi essa linea come un raggio di luce, si ripeta la solita costruzione, si troverà sempre che il raggio incidente ed il rifratto sono fra di loro paralleli e tali, che prolungati vanno a terminare nei due punti nodali. Se non sia molto notevole l'ertezza della lente, sarà ben piccola la distanza, che passa tra i punti nodali, e quindi trascurabile lo spostamento laterale subìto dal raggio rifratto; onde si suol dire, che un raggio di luce incidente, che abbia una direzione, la quale passi per il centro ottico della lente, esce da questa irrefratto. Dicesi poi *asse ottico secondario* una retta la quale, partendo da un punto luminoso, passa per il centro ottico.

774. Immagini formate dalle lenti convergenti. — Le cose fin qui dette ci danno il mezzo di rendere ragione delle immagini formate dalle lenti convergenti. Sia AB (fig. 364) un oggetto luminoso posto sull'asse principale della lente biconvessa MN ad una distanza da questa maggiore del doppio della distanza focale OC = OF. Dal punto A si conduca la retta AI parallela all'asse principale. Se questa fosse un raggio di luce, dopo la rifrazione passerebbe per il foco principale F. Con il solito metodo si determini il cammino PF del raggio rifratto, e si conduca da A l'asse secondario A*a*. Incontrando questo il primo raggio rifratto in *a*, qui si dovranno intersecare tutti i raggi, che partono da A ed attraversano la lente (771); avrassi cioè in *a* il foco coniugato,

ossia l'immagine di A. Ripetendo la stessa costruzione per tutti i punti dell'oggetto AB, si verrà a conoscere formarsi in *ab* un'immagine del detto oggetto, la quale immagine è rovesciata e piccola. Se l'oggetto si allontani di più, resterà sempre lo stesso il raggio rifratto PF, ma l'asse secondario divergerà di meno dal primario, s'impiccolirà l'angolo *boa*; onde l'immagine *ba* si dovrà avvicinare al foco principale, e sarà più piccola di prima, in modo che se l'oggetto venisse ad essere portato ad una distanza grandissima, l'immagine rovesciata sarebbe estremamente piccola, vicinissima al foco principale ed illuminatissima, perchè tutti i raggi, che, partiti dall'oggetto, hanno attraversata la lente, si troverebbero concentrati in piccolissimo spazio.

Avviciniamo al contrario l'oggetto alla lente, e poniamolo in A'B' ad una distanza eguale al doppio della distanza focale. L'asse secondario A'*a*' incontrerà PF in *a*', ed avrà luogo l'immagine rovesciata *a*'*b*', che in questo caso viene in grandezza eguale all'oggetto. Vaglia il vero, si prenda di mira il triangolo A'*a*'P, in cui si consideri come base A'P: sarà FO una linea parallela alla base ed eguale in lunghezza alla metà di questa, e perciò dovrà tagliare a metà ciascuno degli altri due lati. Avrassi dunque OA' = O*a*' e per ciò i due triangoli rettangoli O*b*'*a*', OB'A' saranno eguali; onde si dedurrà essere A'B' = *a*'*b*', B'O = *b*'O, cioè l'oggetto e l'immagine sono eguali ed equidistanti dalla lente.

Si avvicini ancora di più l'oggetto al foco principale, collocandolo ad esempio in AB (fig. 365). Il raggio parallelo all'asse principale si rifrange nella direzione PA', passando per il foco principale F. L'asse secondario AA' fa col primario un angolo maggiore del precedente ed incontra PA' in un punto A' collocato a maggior distanza dalla lente di quella, che aveva luogo nel precedente caso; onde si ottiene in A'B' un'immagine rovesciata e più grande dell'oggetto. Appressando sempre più questo al foco principale C, si va facendo sempre più grande l'angolo B'OA', e quindi sempre più si allontana e s'ingrandisce l'immagine, la quale prende le dimensioni massime, quando l'oggetto è collocato vicinissimo al foco principale.

Che se l'oggetto è posto precisamente nel foco principale, ossia in CA'', essendo OF = A''P, le linee PA', A''Q riescono parallele, e perciò il foco e l'immagine non si formano.

Finalmente si appressi anche di più l'oggetto alla lente, ponendolo in AB (fig. 366) tra il foco principale C e la lente stessa. Il raggio parallelo all'asse principale si rifrangerà, prendendo la solita direzione PF, e sarà divergente all'asse secondario AG, poichè il quadrilatero APFO è un trapezio, il cui lato parallelo minore è AP; non si potranno adunque i detti due raggi mai incontrare, ma prolungati dalla parte di AP, si incontreranno i prolungamenti in A', dove pure dovranno intersecarsi i prolungamenti di tutti gli altri raggi rifratti. Un occhio pertanto collocato in G riceve i raggi come se partissèro da A', e perciò vedrà in A' un'immagine virtuale di A. Dicendosi lo stesso di tutti gli altri punti dell'oggetto, si rende manifesto aver luogo un'immagine virtuale dritta ed ingrandita.

Riepilogando tutto ciò che abbiamo esposto fin qui sulle immagini prodotte dalle lenti convergenti, possiamo formulare le seguenti leggi: 1ª Quando l'oggetto è collocato ad una distanza immensamente grande dalla lente, l'immagine è estramente piccola, reale, rovesciata e posta nel foco principale. 2ª Quando l'oggetto è posto ad una distanza finita, ma maggiore del doppio della distanza focale, l'immagine è reale, rovesciata, collocata ad una distanza maggiore della distanza focale, ed è impiccolita tanto più, quanto maggiore è la distanza dell'oggetto dalla lente. 3ª Allorchè l'oggetto è collocato ad una distanza eguale al doppio della focale, l'immagine reale, rovesciata è eguale all'oggetto, e questo e quella sono equidistanti dalla lente. 4ª Se l'oggetto è posto ad una distanza maggiore della focale, ma minore del doppio di questa, l'immagine reale, rovesciata è più grande dell'oggetto. 5ª Quando l'oggetto trovasi nel foco principale, i raggi da esso emanati escono dalla lente paralleli e l'immagine non si forma. 6ª Finalmente se l'oggetto è collocato fra il foco principale e la lente, l'immagine è virtuale, dritta ed ingrandita.

775. Rapporto tra le grandezze dell'oggetto e dell'immagine. — La somiglianza dei triangoli AOB, *aOb* (fig. 364), dei triangoli AOB, AOB′ (fig. 365) addimostra, che le grandezze dell'oggetto e dell'immagine sono proporzionali alle loro distanze dalla lente. Allorchè adunque si vuole determinare la grandezza dell'immagine, bisogna ben misurare la sua distanza dalla lente, ossia la distanza, a cui si forma il foco coniugato d'un punto dell'oggetto collocato sull'asse principale. A tal fine, piuttosto che usare del solito metodo grafico, è bene di usare delle formole, che andiamo a costruire.

776. Formole relative ai fochi nelle lenti convergenti. — Siano E, D i centri di curvatura d'una lente biconvessa, la cui metà superiore sia espressa da ACB (fig. 367). In F sia un punto luminoso collocato nell'asse ottico principale FI. Si determini col consueto metodo l'andamento d'un raggio FGHI, e si chiamino a la distanza FA del punto luminoso dalla lente, r, s i raggi di curvatura EB, DA, ed x la cercata distanza del foco coniugato I dalla lente. Essendo il rapporto di rifrazione dell'aria nel vetro $\frac{3}{2}:1$, faremo $\frac{3}{2}=n$; onde esprimeremo il suddetto rapporto con $n:1$.

Avvertiamo qui, che, stante la piccola apertura della lente, gli angoli d'incidenza e rifrazione sono piccolissimi, e che perciò i loro seni si possono confondere cogli archi, da cui essi angoli sono misurati; cosicchè in vece dei seni potremo porre gli angoli stessi. Ciò notato, essendo l'angolo m d'incidenza e p di rifrazione, potremo scrivere $m:p=n:1$. Parimente essendo q angolo d'incidenza dentro al vetro e t angolo di rifrazione nell'aria, sarà pure

$$t:q=n:1$$

Dalle quali proporzioni potremo dedurre questa terza

$$m+t:p+q=n:1 \qquad \ldots . (1)$$

Posta a parte questa proporzione, si osservi che l'angolo m è esterno al triangolo GFD, onde si avrà $m = F + D$, avvertendo che quando nominiamo per brevità alcuni angoli con una sola lettera, intendiamo indicare gli angoli acuti e non gli ottusi. Parimente essendo t angolo esterno al triangolo EHD, sarà $t = E + I$. Finalmente per essere M esterno ai triangoli GHM, MED si ottiene $M = p + q$, $M = E + D$ e quindi $p + q = E + D$. Sostituendo tali valori nella (1), questa passa ad essere

$$F + D + E + I : E + D = n : 1$$

nella quale facendo stare gli antecedenti meno i conseguenti ai conseguenti stessi, otterremo

$$F + I : E + D = n - 1 : 1$$

da cui viene l'equazione $(n-1)E + (n-1)D = F + I$. . . . . (2)

Si osservi ora, che, supponendo piccoli gli archi GA, HB, si potranno considerare come linee rette perpendicolari all'asse FI; per la qual cosa si avranno quattro triangoli rettangoli GAF, HBI, GAD, HEB, che ci pongono le seguenti proporzioni;

$$GF : GA = 1 : \operatorname{sen} F \;;\quad HI : HB = 1 : \operatorname{sen} I$$
$$GD : GA = 1 : \operatorname{sen} D \;;\quad HE : HB = 1 : \operatorname{sen} E.$$

Essendo piccola l'ertezza della lente, potrà senza pericolo di grave errore porsi GA invece di HB, e per l'avvertenza fatta in principio gli angoli invece dei seni. Faremo cioè

$$GF : GA = 1 : F \;;\quad HI : GA = 1 : I$$
$$GD : GA = 1 : D \;;\quad HE : GA = 1 : E$$

GF è fisicamente eguale ad $FA = a$, HI è pure fisicamente eguale a $BI = x$, GD è eguale ad s ed HE è eguale ad r. Le precedenti proporzioni si potranno pertanto scrivere nel seguente modo

$$a : GA = 1 : F \;;\quad x : GA = 1 : I$$
$$s : GA = 1 : D \;;\quad r : GA = 1 : E$$

Da queste proporzioni si ricavano le seguenti equazioni

$$F = \frac{GA}{a},\quad I = \frac{GA}{x},\quad D = \frac{GA}{s},\quad E = \frac{GA}{r}.$$

I quali valori, sostituiti nella (2), ci danno

$$(n-1)\frac{AG}{r} + (n-1)\frac{AG}{s} = \frac{AG}{a} + \frac{AG}{x}$$

che divisa per AG passa ad essere

$$\frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{s} = \frac{1}{a} + \frac{1}{x}$$

ossia, ponendo in vece di n il suo valore $\frac{3}{2}$,

$$\frac{1}{2r}+\frac{1}{2s}=\frac{1}{a}+\frac{1}{x}.$$

Isolando in questa l'incognita x si verrà in fine ad ottenere

$$x=\frac{2ars}{a(r+s)-2rs}.$$

Se si supponga, che i raggi luminosi provengano da una distanza immensa in modo che siano fra di loro paralleli, si dovrà porre nella formola $a=\infty$; ond'essa verrà

$$x=\frac{2\infty rs}{\infty(r+s)-2rs}.$$

Si può nel denominatore trascurare la quantità sottrattiva, essendo immensamente piccola riguardo alla quantità positiva: avrassi adunque $x=\frac{2\infty rs}{\infty(r+s)}$, ossia $x=\frac{2rs}{r+s}$, la quale indica la distanza focale.

Se, come spesso avviene, le due facce della lente sono di egual raggio, nelle due formole si dovrà fare $s=r$; per il che addiverranno

$$x=\frac{2ar^2}{2ar-2r^2}=\frac{ar}{a-r}$$

$$x=\frac{2r^2}{2r}=r.$$

Da queste formole si deduce una proporzione, colla quale con somma facilità si determina la posizione dei fochi. Siano D ed F (fig. 368) i fochi principali della lente C, e siano S il punto luminoso ed L il suo foco. È chiaro essere

$$\mathrm{LF}=\mathrm{LC}-\mathrm{FC},$$

ossia $$\mathrm{LF}=\frac{2ars}{a(r+s)-2rs}-\frac{2rs}{r+s}.$$

Riducendo il secondo membro ad un medesimo denominatore,

si avrà $$\mathrm{LF}=\frac{(2rs)^2}{a(r+s)^2-2rs(r+s)},$$

e divisi numeratore e denominatore della frazione per $(r+s)^2$,

si ottiene ancora $$\mathrm{LF}=\frac{\left(\frac{2rs}{r+s}\right)^2}{a-\frac{2rs}{r+s}},$$

che è quanto dire $LF = \frac{\overline{CF}^2}{SC - CD} = \frac{\overline{CF}^2}{SD}$,

e per ciò $SD \times LF = \overline{CF}^2$,

che, posta in proporzione, ci dà

$$SD : CF = CF : LF.$$

Quindi sarà ancora

$$SD : SD + CF = CF : CF + LF, \quad SD : SC = CF : CL.$$

Si alternino i termini medii ed avrassi

$$SD : CF = SC : CL.$$

Da questa si ricava

$$SD : SD + CF = SC : SC + CL$$

vale a dire $SD : SC = SC : SL.$

È questa la proporzione da noi cercata.

777. Lenti divergenti. — Loro foco principale. — Passiamo alle lenti divergenti e primieramente determiniamo il loro foco principale. Si consideri (fig. 369) un raggio di luce MI parallelo all'asse principale CC': colla solita costruzione grafica indicata in figura, si trova che PR è la direzione del raggio rifratto, il quale prolungato dalla parte dell'oggetto, va ad incontrare in F l'asse principale. Ripetuta la costruzione grafica per qualunque altro raggio parallelo al primo, si scorge che tutti i raggi rifratti prolungati terminano in F e si conchiude, che i raggi paralleli emergono dalla lente fra di loro divergenti, come se provenissero da F, il quale è il foco principale virtuale. Ciò che ora si è detto si può verificare sperimentalmente. Fatto entrare in una camera oscura un fascio di raggi luminosi paralleli all'asse ottico principale d'una lente biconcava, si vede da questa emergere un fascio di raggi divergenti, e posto di fronte alla lente un diaframma, si forma su questo un cerchio illuminato tanto più grande, quanto più distante dalla lente si pone il diaframma. Collocato un occhio nel posto di questo esso riferisce i raggi ad un punto unico, che è il foco principale virtuale della lente.

778. Fochi coniugati virtuali. — Se un punto luminoso venga collocato ad una distanza finita dalla lente divergente, ripetuta la consueta costruzione geometrica, si scorgerà, che i raggi escono sempre divergenti ed in modo tale, che i loro prolungamenti vanno tutti a terminare in un medesimo punto. Nelle lenti divergenti adunque hanno luogo i fochi coniugati, che sono sempre virtuali.

779. Immagini formate dalle lenti divergenti. — Anche nelle lenti divergenti si verifica, che esiste in esse un centro ottico, per il quale passando un raggio di luce, questo esce irrefratto; il che si dimostra con metodo grafico consimile a quello, con cui dimostrammo questa proprietà nelle lenti convergenti (773). Una linea retta, che, partendo da un punto luminoso, passa per il centro

ottico della lente divergente, dicesi pure *asse ottico secondario*. Ci è ora facile cosa il determinare le immagini d'un oggetto ottenute con una lente divergente. Sia nell'asse principale di questa collocato un oggetto AB (fig. 370), e si consideri un raggio luminoso, che, partendo da A, vada parallelamente all'asse primario. Sia AI questo raggio; colla solita costruzione troveremo, che esso si rifrange nella direzione LH in modo, che prolungato andrebbe a terminare nel foco principale F. Conducasi l'asse secondario AO; andando questo ad intersecare IF nel punto a, ci farà conoscere essere a il foco coniugato, ossia l'immagine di A. Ripetendo tutto ciò relativamente agli altri punti dell'oggetto AB, troveremo aver luogo in ab un'immagine virtuale, dritta ed impiccolita. Allontanando AB dalla lente, l'intersezione dell'asse secondario con LF succede sempre più vicino al foco principale F, e l'immagine risulta sempre più piccola. Che se invece l'oggetto si avvicini alla lente, portandolo in A'B', l'immagine sarà $a'b'$ più grande di prima, senza però poter mai raggiungere la grandezza dell'oggetto. Adunque possiamo conchiudere, che l'immagine d'un oggetto nella lente divergente è sempre virtuale, dritta, più piccola dell'oggetto, e tanto più piccola, quanto più sta vicina al foco principale, ossia quanto più lontano è l'oggetto. I due triangoli simili O$a'b'$, OA'B' ci addimostrano, che anche nelle lenti divergenti le grandezze dell'oggetto e dell'immagine sono proporzionali alle relative distanze dalla lente.

780. Formole relative ai fochi nelle lenti divergenti. — Le formole relative ai fochi nelle lenti convergenti (776) facilmente si adattano alle divergenti. Si avverta difatti, che mentre nelle lenti biconvesse il centro di curvatura della faccia destra sta a sinistra, ed a destra quello della faccia sinistra, nella lente biconcava i centri di curvatura stanno nella parte medesima delle facce, a cui appartengono. Se adunque abbiamo presi positivi i raggi di curvatura della prima lente, dovremo chiamare negativi quelli della seconda. Riprese pertanto le due formole

$$x = \frac{2ars}{a(r+s)-2rs}, \quad x = \frac{2rs}{r+s},$$

e fatti negativi i raggi r, s, otterremo

$$x = -\frac{2ars}{a(r+s)+2rs}, \quad x = -\frac{2rs}{r+s},$$

le quali servono per le lenti biconcave.

CAPO V.

ANALISI E SINTESI DELLA LUCE

781. Spettro solare. — Newton è stato il primo, che abbia dimostrato, la luce bianca, quale è la solare, non essere semplice, ma composta di sette raggi variamente colorati e dotati di diverso potere di rifrazione, sicchè, fatta passare essa luce bianca attraverso ad un prisma triangolare di vetro, i sette raggi, rifrangendosi chi più, chi meno, debbono escire dal prisma separati, ed in tal modo la luce bianca rimane decomposta. L' esperimento si fa nel modo seguente. Per un foro circolare si fa penetrare in una camera oscura un fascio di raggi solari *S* (fig. 371), i quali in un diaframma NM posto di fronte alla detta apertura vanno a dipingere un' impronta circolare di luce bianca I. Ma se il fascio di luce, prima di giungere al diaframma, cade sopra al prisma P, lo spettro solare non più si forma in I, ma è spostato verso la *base* P del prisma rifrangente, non è più circolare, ma presenta una forma allungata RV con due lati paralleli fra loro e perpendicolari agli spigoli del prisma, e terminante agli estremi R, V in due semicerchi; finalmente lo spettro non è bianco, ma variamente colorato e la serie dei colori a partire dalla parte meno deviata è la seguente: rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, indaco, violetto. Il passaggio tra un colore e l'altro non è preciso e netto, ma succede con graduazioni e sfumature. Allorchè si fa girare il prisma in un senso o nell' altro, la posizione dello spettro nel diaframma cambia e la deviazione o aumenta o diminuisce, ed in una data posizione del prisma è minima. A spiegare il descritto fenomeno Newton ammise, che i sette raggi colorati costituenti la luce bianca non siano egualmente rifrangibili, ma il rosso si rifranga meno di tutti, più del rosso l'arancio, più di questo il giallo, e così via via di maniera che il violetto sia il più rifrangibile. Se pertanto un raggio di luce bianca OD (fig. 372) cade sulla sezione ABC d' un prisma, condotta la normale al punto d'incidenza, a questa si avvicinerà un poco il raggio di luce rossa *r*, allorchè penetra nel vetro, mentre molto ad essa normale si appresserà il raggio violetto *v*,

e gli altri cinque raggi piu o meno si troveranno vicini alla perpendicolare secondo il loro grado di rifrangibilità. Emergendo dal prisma questi raggi, si separeranno maggiormente fra di loro, perchè il raggio r poco si allontanerà dalla perpendicolare condotta nel suo punto d'emergenza, ma molto se ne discosterà il raggio v, e gli altri cinque tanto meno si allontaneranno dalla rispettiva normale, quanto più nella scala sopraddetta si discostano dal violetto. Sembrerebbe però, che i colori dello spettro dovessero essere tutti ben separati tra loro, come ancora non si comprende, perchè nel caso, in cui il foro è rotondo, i lati dello spettro siano rettilinei e paralleli. A spiegar ciò bisogna ammettere, che non tutti i raggi di un medesimo colore sono dotati della stessa rifrangibilità, ma, ad esempio, mentre alcuni raggi rossi hanno una rifrangibilità minima, altri raggi rossi ne hanno una un poco maggiore, altri una più grande ancora, in modo che il potere di rifrangersi dei raggi rossi un poco alla volta si avvicina a quello dei raggi aranci, e così via via. Quindi è, che se un cilindro di luce bianca cade sopra ad un prisma, i raggi rossi meno rifrangibili di tutti andranno nel punto più basso del diaframma a formare un'immagine circolare rossa, i raggi rossi un poco più rifrangibili dei primi formeranno una seconda impronta circolare rossa pochissimo più elevata ed in gran parte sovrapposta alla prima, e così via via si avrà un gran numero d'impronte circolari colorate, in parte sovrapposte le une alle altre; ond'è che ai lati si avranno per una tale sovrapposizione due linee quasi rette e parallele, mentre agli estremi si hanno due archi di cerchio. Dalla medesima sovrapposizione nasce, che nello spettro non si veggano ben distinti e separati i sette colori, ma si abbiano molte graduazioni e sfumature tra l'uno e l'altro. Qui notiamo, che appellasi *angolo di dispersione* quello, che è formato dal prolungamento dei raggi estremi rosso e violetto dello spettro solare.

782. Prove della diversa rifrangibilità dei raggi colorati. — Fra le molte esperienze, con cui Newton ha dimostrato il vario potere di rifrangersi dei diversi colori dello spettro, faremo menzione di due. Un fascio di luce bianca solare S (fig. 373) s'introduca in una camera oscura, e facciasi battere sul prisma orizzontale P. La luce emergerà da questo decomposta nei sette colori. Cada lo spettro in un diaframma, che abbia un piccolo foro o. Un secondo diaframma è posto ad una certa distanza dal primo in modo che su di esso vadano a rappigliarsi i raggi di luce, che penetrano per il foro o. Fra l'uno e l'altro diaframma si ponga un altro prisma P′ verticale. Supponiamo, che non sia ancora collocato questo secondo prisma, e che il prisma P sia disposto in maniera, che entrando per o la luce rossa, questa vada a formare nel secondo diaframma l'impronta a. Interposto allora il prisma P′, si vede spostata l'impronta a in r verso la base di esso prisma. Che se girando P, si faccia passare per o la luce violetta, essa incontrerà il secondo diaframma in un punto v più vicino alla base di P′. Gli altri raggi intermedii vanno a formare l'impronta tra r e v.

Penetri in una camera oscura un fascio di luce bianca S (fig. 374), che vada a formare in un diaframma un'impronta bianca a. Un

prisma orizzontale P colla base rivolta in basso sia disposto in modo, che cada su di esso una parte del detto fascio. Questa parte è deviata, e mentre si prosegue a vedere l'impronta *a* per la luce, che non attraversa il prisma, si vede in pari tempo lo spettro colorato *bc*. Un secondo prisma P' verticale si colloca in guisa, che su di esso batta parte della banda luminosa, la quale forma lo spettro *bc*. Questa luce sarà spostata verso la base di esso secondo prisma, e si formerà un altro spettro *de* non parallelo al primo, ma inclinato verso l'estremo rosso; la qual cosa conferma essere minima la rifrangibilità del rosso, massima quella del violetto.

783. Determinazione degli indici di rifrazione dei varii colori. — Si possono determinare gli indici di rifrazione per i varii colori nel seguente modo. Sul prisma BCA (fig. 375), di cui si conosce l'angolo rifrangente A, si faccia cadere un raggio di luce colorata DE, il quale, rifrangendosi, prenderà la direzione EF entro al prisma e la direzione FG dopo l'egresso dal medesimo. Facilmente si potrà misurare l'angolo di deviazione GMN $= x$. Si suppongano gli angoli d'incidenza e di rifrazione piccolissimi, onde si possano sostituire ai loro seni (776), e s'indichi con n l'indice di rifrazione (762), si avrà

$$i : p = n : 1,$$

ossia

$$p + r : p = n : 1,$$

dalla quale proporzione se ne ricava quest'altra

$$r : p = n - 1 : 1 \quad \ldots \quad (a).$$

Egualmente si avrà

$$t : q = n : 1, \quad q + s : q = n : 1, \quad s : q = n - 1 : 1 \quad \ldots \quad (b).$$

Dalle proporzioni (*a*), (*b*) se ne deduce una terza, cioè

$$r + s : p + q = n - 1 : 1.$$

Ma essendo y angolo esterno al triangolo LEF, ed x angolo esterno al triangolo EMF, si avrà

$$x = r + s, \quad y = p + q;$$

per cui sostituendo si ottiene

$$x : y = n - 1 : 1.$$

L'angolo y è complemento dell'angolo ELF, di cui è pure complemento l'angolo A, perchè il quadrilatero EAFL ha retti gli angoli in E ed F; dunque si ha $y = A$, e per ciò si ha ancora

$$x : A = (n - 1) : 1,$$

dalla quale proporzione discende

$$n = \frac{x}{A} + 1.$$

Fatto l'esperimento per i singoli raggi colorati, e misurato per ognuno l'angolo di deviazione x, si troverà il relativo indice n,

che attraverso del flint-glass si è veduto essere per il raggio medio rosso 1.628 e per il medio violetto 1.671.

784. Dispersione dei raggi calorifici. — Se tolto il diaframma, in cui si rappiglia uno spettro solare, in sua vece si ponga un apparato termo-elettrico del Melloni (459), si avranno segni di aumentata temperatura, e se la faccia della pila sia molto ristretta, cosicchè su di essa cadano i raggi di un solo colore, l' apparato darà segni dei raggi calorifici, che accompagnano i raggi luminosi di quel dato colore. Si trasporti successivamente la pila per tutta l'estensione dello spettro luminoso, e si verrà a conoscere che l'intensità dei raggi calorifici, che sono uniti ai raggi luminosi, cresce dal violetto al rosso. Portata la pila al di là del rosso, si trova che l' intensità del calore va ancora crescendo, e che la dispersione dei raggi calorifici è doppia di quella dei raggi di luce, trovandosi il massimo d'intensità termica al di fuori del rosso ad una distanza da questo colore eguale a circa la metà della lunghezza dello spettro luminoso. Da tutto ciò si rileva, che i raggi calorifici non hanno tutti un egual indice di rifrazione, ma alcuni si rifrangono di più, altri di meno, come avviene dei raggi luminosi. I raggi di calore più rifrangibili accompagnano la luce nello spettro ed i meno rifrangibili escono dallo spettro luminoso dalla parte della luce rossa. I primi si dicono *raggi calorifici luminosi*, gli altri *raggi calorifici oscuri*; quelli si distinguono fra loro col nome del colore, che li accompagna, questi coll' indicazione del grado di loro rifrangibilità. Guglielmo Herschel fu il primo a scoprire la dispersione del calore, che attraversa un prisma, Melloni la studiò col suo apparato, e Jamin e Masson continuarono gli studi di lui. Questi due distinti fisici sperimentarono la diatermicità (706) delle sostanze relativamente ai raggi calorifici luminosi, e dai loro esperimenti dedussero: 1° che tutte le sostanze perfettamente diafane, sono pure perfettamente diatermiche per il calorico luminoso; 2° che le sostanze, le quali intercettano alcuni raggi colorati, intercettano ancora i raggi calorifici luminosi corrispondenti; 3° che i raggi luminosi ed i raggi calorifici corrispondenti attraversano le lastre, o sono da queste intercettati in eguale proporzione; per la qual cosa un corpo perfettamente opaco è anche perfettamente adiatermico per il calore luminoso; il che avviene nello stesso sal gemma annerito col nero-fumo: Tyndal però asserisce aver trovato una sostanza, cioè il jodio disciolto a saturità nel solfuro di carbonio, il quale fa passare tutto il calorico, sì luminoso che oscuro, senza far passare la luce. Tyndal dispone così l'esperimento. Con uno specchio ustorio si concentrino i raggi solari sopra un delicatissimo termometro, e se ne osservi la temperatura; s'interponga di poi allo specchio ed al termometro la detta sostanza, dietro alla quale vi sarà perfetta oscurità, eppure il termometro non mostrerà una benchè piccola diminuzione di temperatura.

785. Raggi chimici. — Il raggio solare, oltre all'esser composto di raggi luminosi e calorifici, contiene ancora i raggi chimici, i quali sono quelli, che esercitano energiche azioni chimiche, anneriscono il cloruro d'argento e sono la causa delle impressioni

fotografiche. Si faccia passare la luce solare per un prisma di cristallo, o meglio di quarzo in modo che lo spettro si rappigli sopra un foglio di carta *calotipica*, ossia preparato per la fotografia: questo poco o nulla annerisce dietro ai colori poco rifrangibili, molto dietro al violetto, moltissimo fuori dello spettro luminoso, al di là del violetto. Adunque diremo, che anche i raggi chimici formano uno spettro allungato, una parte del quale si sovrappone allo spettro colorato, e parte ne sporge fuori del violetto.

786. Sintesi della luce. — Newton dopo di avere analizzata la luce bianca, decomponendola nei sette raggi colorati, ci ha insegnato a farne la sintesi, ricomponendo coi sette colori la luce bianca. La detta sintesi si può effettuare in più modi, dei quali indichiamo alcuni.

1° Newton mescolò in date proporzioni polveri dei sette colori spettrali, ed ottenne un miscuglio d'un bianco perfetto.

2° Sopra un disco di cartone, circondato da un cerchio nero, ed avente un altro cerchio nero intorno al centro, s'incollino sette settori di carta, tinto ciascuno di uno dei sette colori spettrali, e posti nell'ordine, con cui i detti colori nello spettro si succedono. Fatto rotare rapidamente il disco, questo si mostra in tutta la sua estensione bianco, o meglio grigiastro: la ragione di ciò è la seguente. L'impressione della luce nel nostro occhio perdura, come altre volte si è detto, circa un decimo di secondo, per il che se il movimento del disco è tanto rapido, che la durata di un giro sia minore d'un decimo di secondo, l'impressione fatta da un settore, per esempio dal rosso, nelle varie parti dell'occhio in un giro persevererà in tutte le dette parti al terminare del giro suddetto, e se il disco avesse questo solo settore colorato, comparirebbe tutto tinto in rosso, e quando avesse un solo settore turchino, sembrerebbe tutto turchino ecc.; ma avendo invece tutti i colori dello spettro disposti nell'ordine naturale, l'occhio avrà contemporaneamente l'impressione di un disco rosso, di uno aranciato ecc., e la sovrapposizione di tutti questi colori darà luogo alla visione d'un disco bianco, che tende al grigio, perchè non è possibile trovare i sette colori d'una vivacità e purezza eguali a quelle del sole. Perchè però ben avvenga il fenomeno è necessario dare a ciascun settore una determinata grandezza fissata da Newton, e la quale è la seguente

$$\text{Rosso } \frac{1}{9}, \text{ Arancio } \frac{1}{16}, \text{ Giallo } \frac{1}{10}, \text{ Verde } \frac{1}{9}, \text{ Azzurro } \frac{1}{16}, \text{ Indaco } \frac{1}{10}, \text{ Violetto } \frac{1}{9}.$$

Riesce ancor meglio l'esperimento, se si divida il disco in maggior numero di settori, in modo che presentino diverse serie dei sette colori spettrali, purchè gli archi dei settori di ciascuna serie siano proporzionali alle suddette frazioni.

3° Si può ricomporre la luce col mettere sul passaggio dei raggi, che hanno di già attraversato un prisma, e che per conseguenza darebbero luogo ad uno spettro colorato, un altro prisma del tutto eguale al primo, ma capovolto. I raggi, che battono in questo secondo prisma in direzioni divergenti, vengono da questo

ripiegati in senso contrario di prima, e perciò escono riuniti, formando di nuovo luce bianca.

4° Ricevasi la luce decomposta dal prisma in una lente abbastanza grande e dietro alla lente si ponga un diaframma: spostando più o meno questo dalla lente, si giunge a trovare un punto, in cui l'immagine è bianca. Invece della lente si può adoprare uno specchio concavo, innanzi al quale si pone un piccolo diaframma. Raccogliendo sullo specchio i raggi colorati d'uno spettro, essi subiscono una riflessione, e sono tutti concentrati in un solo punto, che sul diaframma convenientemente disposto appare sotto forma d'un cerchietto bianco.

5° Si facciano cadere i sette raggi colorati ottenuti con un prisma (fig. 376) sopra sette piccoli specchi piani disposti in modo, che possano essere inclinati in tutti i sensi, onde dirigere dove si vuole i raggi riflessi. Inclinando convenientemente questi specchi, si fanno prima cadere in un diaframma bianco i sette fasci colorati riflessi e preparati in guisa, che si formino su quello sette immagini distinte e colorate. Di poi si fanno muovere gli specchi in maniera, che le sette immagini si sovrappongano; e si otterrà un'impronta luminosa unica e bianca.

787. Colori costanti dei corpi. — I sette raggi dello spettro sono quelli, che producono, combinandosi insieme, gli svariati colori dei corpi. Invero supponiamo, che la superficie d'una sostanza sia tale da estinguere tutti i raggi di luce, che battono in essa: il corpo in tal caso non è visibile, ma vedesi solamente lo spazio illuminato, che lo circonda, e noi diciamo che quel corpo è nero. Che se invece il corpo è tale da riflettere tutti i raggi, che formano la luce bianca, esso apparisce bianco: ma se un corpo decompone la luce bianca, riflettendo soltanto uno o più raggi colorati, esso comparisce del colore corrispondente. È difficile però, che i corpi decompongano tutta la luce bianca, che cade su di essi, e per ciò riflettono in diverse proporzioni i colori elementari mescolati con una quantità più o meno grande di luce bianca indecomposta, dando in tal modo origine ad un indefinito numero di miscugli diversi, dilavati in differenti proporzioni dalla luce bianca, per cui si produce un'indefinita graduazione di tinte più o meno sbiadite. La porzione dei raggi assorbiti dalle molecole dei corpi e la quantità di luce bianca decomposta crescono col crescere delle molecole stesse, ed ecco perchè le grandi masse di acqua prendono una tinta più carica di quella delle masse di piccola ertezza.

788. Combinazione dei varii colori elementari. — Interessa il conoscere quale sia il colore, che nasce dalla combinazione di due o più colori elementari; il quale intento in più modi si può raggiungere.

1° Ci possiamo servire dell'apparato dei sette specchi disopra descritto (786), facendo sovrapporre le immagini tinte dei colori, di cui vogliamo conoscere il risultante, il quale sarà quello, che prende l'impronta nata dalla riunione delle elementari.

2° Si può usare del metodo di Lambert. Sopra ad un fondo nero orizzontale si pongano due oggetti colorati delle tinte, che

si vogliono sperimentare, ad esempio due ostie da lettere *b*, *c* (fig. 377). Ad una certa distanza al disopra della tavola si dispone verticalmente una piccola lastra di vetro *a* a facce parallele, in modo che il suo piano sia perpendicolare alla retta che congiunge i due oggetti colorati e la divida a metà. L'osservatore pone il suo occhio in *o* assai vicino alla lastra di vetro, e guarda obliquamente in guisa da vedere l'oggetto *b* direttamente attraverso del vetro e l'oggetto *c* per riflessione. Per tal modo le due immagini si dipingono nella medesima parte della retina e dànno la sensazione corrispondente alla mescolanza dei colori degli oggetti *b*, *c*.

3° Helmholtz ha ottenuto l'intento nel seguente modo. Nell'imposta d'una camera oscura (fig. 378) ha praticata una stretta fessura in forma di V, le cui due branche *ab*, *bc* (A) sono congiunte ad angolo retto. Avanti a quest'apertura ha collocato un prisma cogli spigoli verticali. Si è formato un doppio spettro (B), appartenendo $a'a''b'b''$ alla fessura *ab*, e $c'c''b'b''$ alla fessura *bc*. Nello spazio triangolare $b'Bb''$ tutte le bande colorate d'uno spettro tagliano le bande dell'altro; onde si scorgeranno i colori, che nascono dalla combinazione a due per due dei sette colori elementari. I risultati ottenuti da Helmholtz sono notati nella seguente tavola, in cui i colori sono scritti in una linea orizzontale ed in un'altra verticale. Il colore risultante dalla riunione di due è quello, che trovasi notato nella medesima linea dell'uno e nella colonna verticale dell'altro.

	VIOLETTO	INDACO	AZZURRO	VERDE-AZZURRO	VERDE	GIALLO-VERDE	GIALLO
Rosso	Purpureo	Roseo carico	Roseo-chiaro	Bianco	Giallo-chiaro	Giallo-d'oro	Arancio
Arancio	Roseo carico	Roseo-chiaro	Bianco	Giallo-chiaro	Giallo	Giallo	
Giallo	Roseo-chiaro	Bianco	Verde-chiaro	Verde-chiaro	Giallo-verdastro		
Giallo-verde	Bianco	Verde-chiaro	Verde-chiaro	Verde			
Verde	Azzurro-chiaro	Azzurro	Azzurro verdastro				
Verde-azzurro	Azzurro	Azzurro					
Azzurro	Indaco						

789. Colori fondamentali. — Si vede nella tavola, e si può verificare coll'apparato dei sette specchi, che di tre colori consecutivi dello spettro se si uniscono i due estremi, si genera l'intermedio. Da ciò il Fusinieri dedusse, che la luce bianca sia com-

posta di quattro soli colori indecomponibili, cioè rosso, giallo, azzurro, violetto. La formazione poi degli altri tre colori nello spettro avverrebbe per la combinazione di questi. Si ammettano difatti questi soli quattro colori primitivi, e si faccia passare un fascio di luce bianca per un prisma. Si separeranno i quattro colori ed i raggi rossi formeranno uno spettro rosso allungato *ab* (fig. 379); il giallo formerà un secondo spettro allungato *cd*, un terzo *ef* l'azzurro ed un quarto *gh* il violetto. Sovrapponendosi in parte questi spettri, come vedesi in figura, faranno nascere i colori intermedii. Altri fisici hanno ammessi tre soli colori primitivi, cioè rosso, verde, violetto, perchè con questi tre colori combinati fra di loro si possono tutti gli altri ottenere, e per tale ragione ai suddetti tre colori dassi il nome di *colori fondamentali*. Molti pittori ritengono, che i tre colori fondamentali siano il rosso, il giallo, e l'azzurro, perchè colla mescolanza di queste tre tinte possono ottenere tutte le altre. Si deve però avvertire, che se si mescolano sostanze dei detti tre colori, si hanno realmente tutte le altre tinte, ma non già si hanno tutti i colori se nelle medesime proporzioni i raggi di luce solare di quelle tre specie contemporaneamente giungono all'occhio. Parimente se il disco di Newton (786) si ricopre con tre settori, uno rosso, uno giallo ed uno azzurro, fattolo girare, non apparisce bianco.

790. Triangolo cromatico. — Per conoscere le varie combinazioni dei tre colori fondamentali, le quali possono produrre un medesimo colore composto, si fa uso del *triangolo cromatico* (fig. 380). Alla sommità d'un triangolo equilatero si segnano i tre colori fondamentali, e su due lati si notano i quattro colori, che possono esser formati dalla combinazione dei due fondamentali scritti agli estremi del relativo lato; cioè si scrivono tra il verde ed il rosso il giallo e l'arancio, mentre l'azzurro e l'indaco si notano tra il verde ed il violetto. Tra il rosso ed il violetto poi non si scrive alcun colore spettrale, ma il color porpora, che è dato dal rosso e violetto. Ciò posto, diciamo, che nell'interno del triangolo deve necessariamente esistere un punto S tale, che congiunto con linee rette ai tre vertici del triangolo, esse rette SV, SU, SR siano rispettivamente proporzionali alle quantità di verde, violetto e rosso, necessarie per formare la luce bianca. Questo punto S rappresenterà pertanto il bianco. Si prenda ora di mira un altro punto qualunque M della superficie triangolare. Esso punto viene a rappresentare un colore composto, che si ottiene mescolando i tre colori fondamentali in proporzioni espresse dalle linee MV, MU, MR. Siccome poi M si trova nella retta UG, che contiene tutte le mescolanze del giallo col violetto, così possiamo sostituire alle quantità MR di rosso ed MV di verde, la quantità MG di giallo; cioè si otterrà l'istesso colore, mescolando MU di violetto, con MG di giallo. Il medesimo colore potrà pure aversi, unendo assieme una quantità MG di giallo ed una quantità MS di bianco, e finalmente si otterrà la stessa tinta col mescolare una quantità MR di rosso con un'altra MD di verde azzurro. Il triangolo cromatico adunque c'insegna a determinare le diverse combinazioni di colori, che possono sostituirsi l'una all'altra, e ci fa conoscere

ancora, che un colore qualunque composto dalla mescolanza di più colori semplici può sempre ottenersi colla miscela d'un determinato colore spettrale o di porpora con una conveniente quantità di bianco.

791. Colori complementarii. — Due colori si dicono fra loro *complementarii*, quando, mescolati insieme, diano il bianco. Dalla tavola del paragrafo 788 risulta essere complementarii fra loro il rosso ed il verde-azzurro, l'arancio e l'azzurro, il giallo e l'indaco, il giallo-verdastro ed il violetto. Il verde dello spettro non ha per complementario un color semplice spettrale, ma un colore composto ossia il rosso-porpora.

792. Colori subjettivi. — È cosa ben facile ora di dare spiegazione al fenomeno dei *colori subjettivi*. Se un individuo, dopo di avere per qualche tempo tenuto fisso lo sguardo sopra un oggetto colorato, per esempio, in rosso, volge l'occhio tutto ad un tratto ad un oggetto bianco, questo, invece d'apparirgli tale, gli si mostra del colore complementario del primo, nel nostro caso di verde-azzurro. La causa di ciò è la seguente. Quando noi per qualche tempo guardiamo fisso un colore, nel suespresso esempio il rosso, l'occhio così si abitua a questo, che per alcuni momenti non è più adatto a sentirlo così vivamente come prima. Resa in tal modo la retina insensibile per il rosso, se si volge lo sguardo ad una superficie bianca, la pupilla riceve la luce bianca, ossia tutti i sette colori dello spettro, ma il rosso non è più dall'occhio avvertito; e quindi si ha come l'occhio fosse solamente colpito dagli altri sei raggi, i quali uniti insieme dànno il colore complementario. È per questa medesima ragione, che una figura colorata, posta sopra un fondo bianco e guardata per qualche tempo, apparisce circondata da un'aureola del colore complementario. Dalle cose ora dette si deduce pure la ragione, per la quale le figure colorate poste sopra un fondo pur colorato ora *staccano*, ora no. Distaccasi un colore dall'altro, allorchè essi sono complementarii, perchè nei lembi di contatto partono raggi dell'uno e dell'altro colore, i quali, confondendosi, riformano luce bianca, per il che si ha come se fra i due colori fosse tirata una sottilissima linea bianca. Se i colori non sono complementarii, ed uno di essi è composto di più tinte, una delle quali è precisamente quella che forma il campo; quest'ultima, agendo energicamente sull'occhio, fa che questo non sia più tanto adatto ad avvertire il colore semplice a quello eguale, e che trovasi in composizione con altri nel secondo colore; ond'è che quest'ultimo comparisce cambiato.

793. Strie dello spettro. — Wollaston e dopo di lui Fraunhofer hanno fatto conoscere, che la luce dello spettro solare non è continua, ma solcata da una moltitudine di linee sottili ed oscure, la cui direzione è perpendicolare alla lunghezza dello spettro, e la cui posizione è sempre costante. A queste linee venne dato il nome di *strie*, ed il modo più semplice per renderle visibili è il seguente. Un sottil fascio di luce è introdotto in una camera oscura per mezzo d'una fenditura (fig. 381) verticale e stretta *f*. (La figura mostra una sezione orizzontale dell'apparato, che descriviamo). Una lente convergente C acromatica (801), posta ad una distanza dalla

fenditura eguale al doppio della distanza focale, produce sopra un diaframma bianco E, collocato anch'esso ad una distanza dalla lente doppia della distanza focale, un'immagine della fenditura di eguale grandezza (774). Collocando però sul passaggio dei raggi, che hanno già attraversata la lente, un prisma P di flint d'un'estrema purezza cogli spigoli verticali, e nella posizione che conviene alla deviazione minima (769), nel diaframma E, invece della detta immagine, si dipingerà uno spettro orizzontale, non già continuo, ma solcato da vere lacune, ove manca del tutto la luce; le quali lacune sono le strie, che dimostrano mancare nella luce solare quei raggi colorati, il cui indice di rifrazione (783) li porterebbe ad occupare quei dati posti, in cui esse strie si veggono. Il numero delle strie è grandissimo, e quanto più sperimentiamo in condizioni favorevoli alla separazione dei colori, tanto maggiore diviene il numero stesso. Aggiungasi, che, perfezionando i mezzi d'osservazione, si viene a conoscere, che alcune strie non sono semplici, ma composte di altre linee finissime. Fraunhofer distinse con precisione 580 strie oscure, tra le quali, per servirsene come mezzo di comparazione, ne prescelse otto principali, che egli distinse colle prime otto lettere dell'alfabeto maiuscolo. Le strie A, B, C sono nel rosso, la prima verso l'estremità dello spettro, la seconda nel mezzo del rosso, la terza poco lungi dall'arancio. La stria doppia D trovasi nel giallo presso al limite dell'arancio; la stria E è nel verde, la F quasi in mezzo all'azzurro, la G nell'indaco e la H alla fine del violetto. Le dette bande servono come punti fissi, cosicchè per indicare un determinato punto dello spettro basta esprimere la distanza che passa tra questo punto e le due strie, fra cui si trova. In uno spettro solare assai puro e distinto si contano 2000 strie.

794. Spettroscopio. — Per studiare più completamente le strie si usa un apparato detto *spettroscopio*. Una fenditura stretta posta al foco principale d'una lente convergente C (fig. 382) lascia passare un fascio di raggi luminosi bianchi, che divengono paralleli dopo di avere attraversata la lente, e vanno a battere in una delle facce d'un prisma P; si decompongono e penetrano nella lente obbiettiva d'un cannocchiale L, il quale è rivolto ad un'altra faccia del prisma. L'occhio per mezzo del detto cannocchiale vede assai ingrandita l'immagine dello spettro colle sue strie. Per determinare l'esatta posizione di queste, Kirchoff ha fatto uso d'una disposizione, per la quale si vede nel campo del cannocchiale una scala graduata orizzontale. A tale scopo si fissa all'estremità d'un tubo *t* una lamina di vetro appannato, su cui è tracciata la scala. Questa illuminata da una fiaccola invia alla seconda faccia del prisma raggi luminosi, che, riflettendosi, penetrano nel cannocchiale unitamente a quelli dal prisma rifratti; onde si vede l'immagine della scala sovrapposta a quella dello spettro. A rendere più visibili le strie, si sono formati *spettroscopii* a più prismi, collocati in modo, che i raggi emersi dal primo penetrino nel secondo e poi nel terzo ecc., e dopo di avere così attraversato tutto il sistema, giungano al cannocchiale, ovvero vadano a formare lo spettro in un diaframma.

795. Principii dell'analisi spettrale. — Fraunhofer dopo di avere ben studiato lo spettro solare, si pose ad esaminare gli spettri

di altre sorgenti luminose. Egli trovò pure le medesime strie, sebbene d'una intensità minore, negli spettri prodotti dalla luce solare riflessa o diffusa. Studiò poi lo spettro delle stelle più brillanti, e vide, che, a modo d'esempio, lo spettro di Sirio è del pari fornito di strie oscure, ma meno numerose di quelle del solare, e non distribuite nel medesimo modo. Riconobbe inoltre, gli spettri delle stelle diversificare fra loro, e comprese, che la scoperta da lui fatta permetterebbe di caratterizzare le varie sorgenti luminose. Sottopose la luce elettrica all'esperimento, e vide nello spettro di questa un certo numero di strie luminose invece delle oscure. Zantedeschi proseguì le ricerche di Fraunhofer, e fu uno degli iniziatori degli stupendi processi, coi quali Kirchkoff e Bunsen hanno fatte tanto utili scoperte, che ora passiamo ad indicare.

Sottoposta all'analisi spettrale la fiamma d'una lampada ad olio, d'un becco a gas, in genere d'una sorgente, che non contenga traccia alcuna di vapore metallico, gli spettri ottenuti si veggono d'una continuità perfetta, cioè non vi si distingue alcuna stria. Al contrario quando si prende per sorgente luminosa un vapore metallico incandescente, lo spettro offre, invece di linee oscure, strie molto brillanti, le quali a seconda del metallo adoperato cambiano di splendore, d'estensione, di colore e di numero. Se il metallo è volatile basta portarlo ad un'alta temperatura, ed allora i suoi vapori si prendono come sorgente di luce, ma siccome sono pochi i metalli volatili, è meglio fare scoccare la scintilla elettrica fra due fili del metallo da sperimentarsi, adoperando, per avere una successione rapida di scintille, il rocchetto di Ruhmkorff (442). Talora si usa dell'arco voltaico (375), che passa fra due carboni, in uno dei quali si pratica una cavità atta a ricevere un globetto del metallo sciolto. Finalmente si può adoprare una combinazione volatile, in cui entra il metallo da studiarsi. L'esperienza ha provato, che lo spettro in tal modo ottenuto è identico a quello, che avrebbe fornito il metallo stesso impiegato direttamente. Notato tutto ciò, diciamo, che Kirchkoff e Bunsen, avendo esaminato per mezzo dello spettroscopio fiamme colorate con diversi sali metallici, hanno constatato delle bande luminose caratteristiche per ciascun metallo. Avanti alla fenditura dello spettroscopio (fig. 382) hanno posto un becco a gas B, la cui fiamma dà uno spettro privo di strie. Un filo di platino previamente immerso in una soluzione di sale marino (cloruro di sodio) è mantenuto con un montante S in mezzo alla fiamma. Tosto sopra un fondo assai oscuro si projetta una riga brillantissima, la quale si può dire che rappresenti da sè sola tutto lo spettro: questa riga occupa il posto, che sarebbe tenuto dalla doppia stria nera D dello spettro solare. Invece del sal marino si usi d'un altro sale di sodio, e sempre si vedrà brillare la medesima stria, che denota la presenza del detto metallo. La minima traccia di sodio è resa manifesta dallo spettroscopio, bastando per ottenere la menzionata stria una milionesima parte d'un milligrammo del metallo. Bagnando il filo di platino con una soluzione d'un sale di calcio, si ottiene una stria verde vivissima, una gialloazzurra ed una azzurra. Il potassio dà due righe, una rossa ed una violetta, il litio una riga gialla di un debole splendore ed un'altra

rossa brillante. Si conoscono egualmente le strie caratteristiche degli altri metalli; ond'è che deve dirsi essere lo spettroscopio un delicatissimo apparato di analisi chimica. Dopo di avere con esso esaminate molte sostanze, accadde a Kirchkoff e Bunsen nello sperimentare alcuni minerali di vedere delle strie brillanti, che non esistevano in tutti gli altri spettri da loro esaminati; da ciò con ragione dedussero l'esistenza nel corpo sperimentato di qualche metallo non ancora conosciuto, e difatti poterono venire in cognizione di due metalli, cioè del cesio e del rubidio, il primo dei quali è caratterizzato da due righe azzurre, il secondo da righe rosse. In simil guisa in appresso si scoprirono il tallio riconoscibile per una stria verde e l'iridio, che si manifesta con una stria azzurra collocata nell'indaco.

796. Rovesciamento dello spettro. — Se nella fiamma d'un gas collocata avanti alla fenditura dello spettroscopio si ponga il filo di platino ricoperto di cloruro di sodio, tosto apparisce, come abbiamo detto, la stria gialla D. Si ponga quindi tra la fiamma e la fessura una seconda sorgente di luce meno viva della prima e contenente del sodio in vapore, come sarebbe una lampada ad alcool salato; si vedrà subito svanire la stria gialla D, formandosi invece nel suo posto una stria oscura. Un simile fenomeno, verificato su molti spettri, venne da Kirchkoff chiamato *rovesciamento dello spettro*, il quale così si spiega. Le fiamme, che producono strie colorate, sono certo quelle, che emettono più abbondantemente raggi di luce dotati di tale indice di rifrazione, da dirigerli in quella data parte dello spettro, in cui la banda luminosa si forma. Ora si ammetta, che quel gas, il quale tramanda più raggi di una medesima rifrangibilità, sia pur quello, che più facilmente assorbe quei raggi. Ciò ammesso, dovrà avvenire, che quando il detto gas sia attraversato da un fascio luminoso, assorbirà quei determinati raggi; onde nello spettro in quel luogo, che doveva essere da questi occupato, si dovrà formare una stria oscura. È questa un'analogia esistente fra i fenomeni della luce e quelli del calorico raggiante, riguardo al quale abbiamo veduto (701), che il potere assorbente dei corpi è nella ragione diretta del potere raggiante.

797. Bande d'assorbimento prodotte nello spettro da sostanze colorate. — Si volga la fenditura dello spettroscopio verso l'orizzonte, o verso un muro bianco illuminato dal sole: la luce diffusa ó riflessa darà il solito spettro solare. Ma si ponga avanti alla fessura un vetro colorato, ad esempio un vetro rosso, non si vedrà più dello spettro che una sola banda rossa, rimanendo arrestati tutti gli altri raggi dalla materia colorante, onde a dritta ed a sinistra della banda luminosa si estenderà una banda nera. Il vetro adoperato adunque non lascia passare, che raggi dotati d'una certa rifrangibilità. Le diverse sostanze coloranti si comportano nella stessa maniera, ma in un modo speciale per ciascuna di esse, assorbendo certi raggi e facendone passare degli altri. Per esaminar poi un liquido colorato, si suole questo versare in un piccolo recipiente di vetro, il quale si pone avanti alla fenditura dello spettroscoppio.

798. Strie d'assorbimento dell'emoglobina e dell'ema-

tina. — Fra le materie coloranti quella del sangue, ossia l'emoglobina, presenta caratteri speciali, che interessano la medicina legale. Basta di versare in uno stretto tubo di vetro una o due goccie di sangue, aggiungere dell'acqua, e disporre la colonna liquida, dopo di averla agitata, avanti alla fenditura dello spettroscopio per riconoscere nello spettro due grandi bande oscure, la cui posizione è costante. A ben fissare la detta posizione, prima di ciascuna esperienza si fa coincidere la stria D dello spettro solare con una data divisione della scala. Si vede che le due bande d'assorbimento sono situate tra le due strie D ed E, trovandosi la prima nel giallo e l'altra nel verde, le quali posizioni si notano nella scala. Se si priva l'emoglobina dell'ossigeno col fare il vuoto al disopra del sangue, ovvero coll'aggiungere al liquido un sale avido d'ossigeno, come il tartrato d'ossido di stagno sciolto nell'ammoniaca, l'emoglobina così disossigenata non dà più che una sola stria oscura, che occupa l'intervallo, il quale prima separava le due bande. Nell'avvelenamento col gas ossido di carbonio, come insegna Claudio Bernard, il gas deleterio scaccia l'ossigeno dalla sua combinazione coll'emoglobina e prende il suo posto. Dopo ciò l'azione del vuoto e l'aggiunta d'un sale capace di togliere l'ossigeno dal sangue, non possono cacciare l'ossido carbonico. Si potrà pertanto riconoscere nel sangue la presenza di questo gas deleterio, quando si sarà tolto al liquido tutto l'ossigeno, e malgrado la riduzione dell'emoglobina si vedranno persistere le due bande d'assorbimento, invece dell'unica intermedia, poco differenti da quelle del sangue ossigenato.

L'ematina, materia colorante derivata dall'emoglobina, in soluzione allungata, e posta in un recipiente di vetro a pareti piane e parallele, od in un tubo, secondo la quantità, che se ne ha, produce una banda d'assorbimento, che coincide colla stria C, quando essa sostanza è sciolta in un acido, o trovasi più internata nell'arancio, ossia tra le strie C, D, quando è disciolta in un alcali. L'ematina disossigenata presenta due bande d'assorbimento collocate tra le strie D ed E, delle quali bande è più ampia quella posta vicino alla D.

799. Strie dello spettro ultra-violetto. — Le strie ci vengono presentate ancora dai raggi chimici. Si faccia uso d'uno spettroscopio a lenti e prisma di quarzo, e si ponga al foco del cannocchiale una certa quantità d'una sostanza sensibile alla luce distesa su di una lista metallica. Si produrrà su questa un'immagine piccolissima dello spettro solare, ma di una straordinaria nettezza, la quale riprodotta colla fotografia si esamina col microscopio. Così operando, Mascart ha dimostrato, che la regione occupata dallo spettro solare ultra-violetto è più larga di quella dello spettro luminoso, e che le righe inattive corrispondenti alle strie oscure vi sono numerosissime e suscettibili di essere studiate con precisione. Facendo esperimenti con sorgenti luminose contenenti vapori metallici incadescenti, le strie inattive ottenute sulle lamine sensibili sono caratteristiche per ogni metallo. Con un potente rocchetto di Ruhmkorff, facendo scoccare una serie di scintille tra due fili d'argento, si ottiene uno spettro ultra-violetto sei volte più lungo del luminoso.

CAPO VI.

ABERRAZIONI DELLE LENTI

800. Aberrazione di rifrangibilità. — Diconsi *aberrazioni* alcuni difetti, che presentano le lenti. Di queste intendiamo ora parlare, incominciando dall'*aberrazione di rifrangibilità*, che proviene dal vario indice di rifrazione dei raggi colorati (783). In un punto dell'asse ottico principale della lente L (fig. 383) sia collocato un punto A, che emani luce bianca. Un raggio AI, attraversando la lente, si deve avvicinare all'asse ottico principale nel subire due volte la rifrazione (770). Ma essendo il raggio violetto assai più rifrangibile del rosso, quello si ripiegherà più di questo, onde andrà a formare il foco coniugato in V, mentre il rosso lo formerà più lontano in R, e fra questi due punti si formeranno distinti e separati i fochi degli altri cinque raggi colorati. Se adunque innanzi alla lente L (fig. 384) sia posto un oggetto AB, condotti i raggi secondarii Ar', Br, su questi si formeranno i fochi coniugati dei punti A, B; ma siccome i varii raggi colorati formano i loro fochi a distanze diverse dalla lente, avranno luogo sette immagini di sette colori, delle quali la più lontana rr' sarà rossa, la più vicina vv' violetta, e le intermedie saranno degli altri cinque colori. La parte delle immagini racchiusa fra le rette vo, $v'p$, essendo costituita dai sette colori sovrapposti, vedrassi bianca, ma gli estremi racchiusi tra rvo, $r'pv'$ dovranno comparire di colore, che cambia verso il lembo via via che va mancando un colore elementare per volta. Ecco perchè un oggetto osservato con una lente vedesi circondato da una fascia iridescente, che deturpa l'immagine.

801. Lenti acromatiche. — Per avere immagini prive dell'esposto difetto è necessario usare lenti *acromatiche*, tali cioè, che egualmente rifrangano tutti i raggi luminosi di qualunque colore. Il dare l'esatta teoria dell'acromatismo delle lenti appartiene alla fisica matematica: noi ci limiteremo a darne un'idea. Vedemmo (786), che se si pongano uno vicino all'altro due prismi di egual forma e materia, e capovolti, la luce, che li attraversa, esce indecomposta. Però i due prismi formano un sistema rifrangente a facce parallele, e per conseguenza il raggio rifratto esce parallelo all'incidente (766), e non si ha quella deviazione, che colle lenti si vuole ottenere. Fu per questo, che Newton asserì, non potersi ottenere un sistema acromatico, che in pari tempo non sia inutile. L'inglese Dollond fece vedere, esser falso un tale asserto, e giunse nel 1757 a costruire lenti acromatiche. Egli ottenne in primo

luogo un sistema di prismi, che devia la luce senza decomporla, col mettere accanto ad un prisma un altro rovesciato di diversa sostanza e di diverso angolo rifrangente, ma convenientemente scelto. Le sostanze comunemente usate sono il flint ed il crown, ed il calcolo dà i veri rapporti, che debbono esistere tra gli angoli rifrangenti ed i poteri rifrattivi di due prismi, perchè formino un sistema perfettamente acromatico. Fu poi cosa facile dall'acromatismo dei prismi passare a quello delle lenti, poichè addossando ad una lente biconvessa A (fig. 385) di crown una divergente B di flint, sarebbe come unire insieme (770) due sistemi di prismi capolvolti. Col calcolo si dimostra, che, onde le lenti formino un sistema acromatico, debbono essere costruite in guisa, che la distanza focale della prima stia a quella della seconda, come il potere dispersivo della prima (781) diviso per il potere rifrattivo di essa sta allo stesso quoto relativo alla seconda. Vedesi in C come si possa formare un sistema acromatico con tre lenti, una biconcava di flint e due laterali biconvesse di crown.

802. Aberrazione di sfericità. — Abbiamo ammesso (771) che i raggi i quali partono da un punto ed attraversano una lente, si vadano ad intersecare in un medesimo punto fisico. Questo però non si verifica nemmeno per i raggi di luce omogenea, se non quando le lenti siano di lunghissima distanza focale, cioè quando le facce siano poco curve. Che se si tratti di lenti di corta distanza focale, i raggi, che battono nelle parti centrali, formano il foco in un punto più distante, e quelli che attraversano la lente vicino all'orlo lo formano in un punto più vicino. A tale difetto dassi il nome di *aberrazione di sfericità*, perchè ha per causa la curva sferica delle facce della lente. Ad esempio, sulla lente LL' (fig. 386) si facciano cadere raggi paralleli all'asse ottico; i raggi so, $s'o'$, che battono vicino agli orli formano il foco in f', mentre i raggi rp, $r'p'$ s'intersecano nel punto più lontano f, il che così si può sperimentare. Esposta la lente ai raggi solari, essa si copra con un disco di cartone forato in mezzo, cosicchè non passino se non i raggi, i quali attraversano la parte centrale della lente. Una superficie bianca si presenti a questa ad una tale distanza, che possa in essa superficie formarsi una piccolissima ed esatta immagine del sole: sarà questo punto il foco dei raggi centrali. Tolto allora il diaframma di cartone si vedrà il punto f circondato da un'aureola ab, la quale nasce dai raggi, che, avendo attraversata la lente vicino ai lembi, hanno intersecato l'asse principale in f' e quindi hanno proseguito il loro cammino divergenti. Il diametro ab dell'aureola dicesi *aberrazione sferica trasversale*, mentre la distanza ff' misurata sull'asse si appella *aberrazioue sferica longitudinale*. Se la lente, anzi che essere convergente, fosse divergente, i raggi cadenti vicino al suo orlo formerebbero il loro foco virtuale più lontano dalla lente ed i raggi centrali più vicino, e per ciò l'aberrazione dicesi *negativa*. Che se si costruisse un assieme di due lenti, una convergente e divergente l'altra, l'aberrazione di sfericità riescirebbe o positiva o negativa, secondo che preponderasse o l'aberrazione della prima o quella della seconda. Intendendosi poi per *apertura* d'una lente il suo diametro diviso per la sua distanza focale, si comprende, che quanto

maggiore è questa apertura, ossia quanto più grande è il diametro e più piccola la distanza focale, tanto maggiore è l'aberrazione di sfericità; imperocchè quanto è più grande l'apertura, tanto più curve sono le facce della lente; dal che nasce l'aberrazione suddetta.

803. Aberrazione minima di sfericità. — Per una determinata distanza tra la lente ed un punto raggiante collocato sull'asse ottico principale, il calcolo e l'esperienza hanno determinato i raggi di curvatura, che debbonsi dare alle facce della lente, perchè l'aberrazione di sfericità riesca la più piccola possibile. Ciò dipende dall'indice di rifrazione della materia, di cui la lente è formata. Trattandosi di una lente di crown e per raggi paralleli, i raggi di curvatura delle due facce della lente debbono stare fra loro come 1 : 6, essendo la faccia di raggio 1 quella che è rivolta al punto luminoso. Se si tratti poi d'una lente di flint, il cui indice di rifrazione è maggiore, la forma più vantaggiosa sarà quella pianoconvessa. Se il punto luminoso si avvicini alla lente, cambia il detto rapporto tra i raggi di curvatura, e per le lenti di crown, secondo che il punto raggiante si appressa, la faccia a questa rivolta deve aumentare di convessità rapporto all'altra; onde la relazione fra i raggi di curvatura, che nel primo caso abbiamo detto essere 1 : 6, passa successivamente ad essere 2 : 5, 3 : 4, 4 : 3, 5 : 2, ed in fine, se il punto luminoso si ponga nel foco principale, il detto rapporto dovrà essere 6 : 1, cioè la lente in quest'ultimo caso avrà la forma, che doveva avere nel primo, ma si metterà in posizione rovesciata.

804. Correzione totale dell'aberrazione di sfericità. — Se avanti ad una lente si ponesse un diaframma, che avesse al suo centro un foro non molto grande, essa lente sarebbe ridotta alla sola sua parte centrale. Impedito in tal modo il passaggio ai raggi luminosi, che battono vicino ai lembi, si viene a diminuire l'aberrazione di sfericità; ma oltre che un tal difetto non verrebbe completamente tolto, la presenza di quel diaframma, intercettando gran parte di raggi, renderebbe l'immagine poco illuminata. Ad eliminare totalmente la detta aberrazione, fa d'uopo unire ad una lente convergente una divergente aventi le contrarie aberrazioni longitudinali eguali (802). Difatti il raggio B*o* (fig. 387), parallelo all'asse ottico principale della lente biconvessa L e poco dal detto asse distante, andrebbe dopo di avere attraversata la detta lente ad intersecare l'asse nel punto *f'* più distante dalla lente del punto *f*, ove l'asse viene incontrato dal raggio Q*a*, che batte nel vetro vicino al lembo. Ma si addossi ad L un'altra lente M divergente; i due raggi *af*, *of'* saranno deviati nell'attraversare quest'ultima, la quale diminuisce la loro convergenza coll'asse principale. Siccome però la superficie concava *oa*M della lente M nella parte centrale è poco inclinata al diametro di L, e lo è molto nelle parti periferiche; così la deviazione di *of'* sarà poca, ed il detto raggio prenderà la direzione *b*F, e molta sarà la deviazione del raggio *af*. Se quest'ultimo prenderà la direzione *t*F, l'aberrazione di sfericità sarà totalmente eliminata. A questo sistema formato di due lenti e privo dell'esposto difetto dassi il nome di *lente aplanatica*. La matematica insegna le condizioni, che debbono avere le lenti L, M, perchè formino un sistema perfettamente aplanatico. La L può avere una

faccia convessa di egual raggio della faccia concava di M, nel qual caso le dette due superficie possono essere messe a contatto; ma possono ancora le due lenti stare fra di loro separate da un intervallo più o meno grande, e possono avere un diametro differente. Non è necessario che siano della medesima sostanza, e se si fanno una di flint e l'altra di crown, si correggeranno contemporaneamente le aberrazioni di rifrangibilità e di sfericità. Siccome però è più notevole quella, che questa, si attende più a correggere la prima che la seconda; ond'è che le lenti perfettamente acromatiche non sono perfettamente aplanatiche.

805. Profondità del foco. — Perchè su d'una superficie si possa formare un'immagine netta, è necessario, che quella sia posta ad una debita distanza dalla lente, la quale distanza dipende da quella, che passa tra la lente e l'oggetto (774). Nondimeno insegna l'esperienza, che se un poco si sposta la superficie suddetta, l'immagine poco o nulla perde di nettezza, in modo che nella medesima superficie possono ben distinte formarsi contemporaneamente le immagini di più oggetti collocati a distanze alquanto diverse. A questa proprietà delle lenti dassi il nome di *profondità del foco*. Fa poi conoscere l'esperienza, che la profondità del foco è massima quando gli oggetti sono assai distanti dalla lente, cosicchè le loro immagini siano assai vicine al foco principale, e che la detta profondità va scemando tanto più quanto più gli oggetti alla lente si appressano. Cambia ancora la profondità del foco col variare dell'apertura della lente, essendo quella tanto minore, quanto maggiore è questa. In vero, lasciando tutta libera la lente DO (fig. 388), i raggi paralleli r, r', che battono in essa, andranno ad intersecarsi nel punto a, ond'è che, collocato ivi il piano A, su di questo si avrà perfetta l'immagine del punto lontano, che ha emanata la luce. Che se il piano si porti od in B od in C, in esso invece di formarsi un punto illuminato, si formerà un *cerchio di diffusione* alquanto esteso, e perciò l'immagine non sarà perfetta. Ma se vicino alla lente LP si ponga un diaframma QS, che diminuisca di molto l'apertura della lente, i raggi paralleli z, z', che l'attraversano, saranno più vicini all'asse ottico, ed i cerchietti di diffusione, che si formano sui piani C', B' saranno assai meno estesi di prima, e per ciò, spostando il piano A', sarà meno sformata l'immagine.

806. Aberrazione della forma dell'immagine o curvatura del campo. — Ancorchè siasi corretta l'aberrazione di sfericità, l'immagine viene perfetta al centro, ma non ai suoi lembi, e ciò per un'altra aberrazione, che appellasi *curvatura del campo dell'immagine*. Siano A, B, C (fig. 389) tre punti luminosi collocati a grande distanza dalla lente L, L'. I raggi, che partono dal punto B, formano tutto il loro foco nel punto F (quando siasi corretta l'aberrazione di sfericità), ove è collocato un piano MN. Non così avviene dei raggi, che provengono da A e da C. Difatti dei raggi, che partono da A, *I* e *II* s'intersecano in a, *II* e *III* in b, *III* e *IV* in c, *IV* e *V* in N. Lo stesso succede dei raggi provenienti da C, I raggi, i quali hanno formato i fochi parziali $a, b, c \dots a', b', c' \dots$ proseguendo il loro cammino, deturpano le immagini N, M dei punti A, C, le quali immagini, come vedesi in figura, sono formate

nel piano NM solamente dai raggi *IV* e *V*, 4 e 5. Ad impedire pertanto tale deturpamento, bisogna collocare un diaframma OP in tale posizione, che, intercettando i raggi *I*, *II*, *III*, 1, 2, 3, faccia passare i raggi *IV* e *V*, 4 e 5, che formano il foco nel piano MN. Uno stesso diaframma può essere messo in modo, che, mentre corregge la curvatura del campo, produca la profondità del foco.

807. Aberrazione di distorsione. — Se l'uso dei diaframmi toglie la precedente aberrazione e rende profondo il foco, in cambio produce un altro difetto, ossia la distorsione dell'immagine; cioè quando alla lente si unisce un diaframma a piccolo foro, l'immagine d'un oggetto, che abbia un contorno a linee rette, comparisce con tali linee alquanto curvate. Ad esempio, se l'oggetto fosse *a* (fig. 390), e se tra la lente e l'oggetto stesso si ponesse un diaframma, l'immagine comparirebbe della forma di *b*, cioè colle linee convesse all'infuori: ma se il diaframma venisse collocato fra la lente e l'immagine, allora questa prenderebbe l'aspetto di *c* colle linee concave verso l'esterno. Difatti sia L (fig. 391) una lente, il cui asse ottico principale sia AB. Perpendicolare a quest'asse e ad una assai grande distanza sia collocato il piano KM e nel foco principale, pure normalmente all'asse, il piano K'M'. Su KM si prenda di mira una retta CE, che passi per l'estremo A dell'asse ottico, e s'immagini di condurre un altro piano, il quale, partendo da CE, passi per il foro *d* del diaframma D. Prolungato questo piano, va a tagliare la lente L secondo la retta *no*, che la divide in due parti eguali. Tutti i raggi di luce, che partono da CE e passano per il diaframma, attraversar debbono la lente per la retta *no*; e siccome la lente è simmetrica a destra ed a sinistra della retta medesima, i raggi di luce non deviano nè a sinistra, nè a destra di essa retta, e per ciò l'immagine $n''o''$ di CE sarà rettilinea. Il medesimo deve dirsi della retta objettiva IA e di qualunque altra retta, che giaccia sul piano KM, e passi per l'estremo A dell'asse principale. Ma si prenda in considerazione un'altra retta OH giacente sul solito piano, la quale però non passi per A. Un piano, che parta da OH e passi per il foro *d*, taglierà la lente L lungo *xz* in due parti disuguali, e per questa linea passeranno i raggi di luce procedenti dai varii punti della retta OH. Siccome poi la lente non è simmetrica intorno ad *xz*, così i raggi saranno lateralmente deviati. Ma questa deviazione non sarà la medesima per tutti, imperocchè i punti *x*, *z* stanno più vicini all'orlo di quello, che ci stiano i punti intermedii; i quali perciò si trovano in parti più erte della lente. Da ciò nasce la distorsione, deviando i raggi, che battono nei punti intermedii, di più verso il lembo della lente. Si comprende dall'esposto, che il difetto di distorsione procede da che, mentre allorquando non vi è il diaframma tutte le parti della lente cooperano alla formazione delle singole parti dell'immagine, posto il diaframma, ciascuna parte speciale della lente influisce alla formazione d'una sola parte dell'immagine. Si comprende pure, che se il diaframma fosse collocato tra L e B, l'incrociamento *d* dei raggi avverrebbe dopo che questi hanno attraversato la lente e già subita la deviazione verso il lembo prossimo di essa, per il che la detta deviazione non avverrebbe verso *v*

ma verso s, il che è quanto dire, che l'immagine non sarebbe convessa al di fuori, ma al di dentro. Da tutto ciò consegue che per togliere il difetto di distorsione si deve far uso di due lenti eguali, in mezzo a cui va posto il diaframma.

808. Astigmazione od aberrazione di posizione delle lenti. — Questa aberrazione così si sperimenta. In una grande camera oscura si adatta un sistema a due lenti convesse: al di fuori sopra una superficie bianca s'incolli un piccolo disco nero, che si fa corrispondere di fronte al detto sistema, e precisamente all'estremo dell'asse del medesimo. Sopra un diaframma collocato entro alla camera oscura normalmente al detto asse si dipingerà l'immagine di esso disco; la quale immagine comparirà rotonda e rimarrà sempre tale, ancorchè si avvicini o si allontani il diaframma dalle lenti, nel qual caso l'immagine perderà solamente di precisione. Ma se le cose si dispongano in modo, che il disco non coincida coll'asse, sicchè l'immagine si vada a formare verso un lembo del diaframma, si sperimenterà essere impossibile di ottenere un'immagine precisa. Vediamone la ragione. Sia LOMN (fig. 392) una lente convergente, il cui asse ottico principale sia AB. Un oggetto luminoso posto a grandissima distanza mandi alle lenti raggi paralleli fra loro, ma obliqui all'asse principale. Un raggio rC, che passi per il centro ottico, escirà irrefratto e sarà un asse secondario. Per questo asse si supponga passare un piano verticale, che taglierà la lente secondo il diametro verticale LM. S'immagini ancora condurre per il medesimo asse secondario un secondo piano perpendicolare al primo, che taglierà la lente secondo il diametro orizzontale ON. Vediamo l'andamento dei raggi che giacciono in uno di questi due piani, incominciando da quelli, che si trovano nel primo. Considerando i raggi r'L, r''M, si deve riflettere, che a motivo dell'obliquità, che l'asse principale ha con essi, i medesimi non si trovano nelle identiche circostanze riguardo alla lente, relativamente alla quale non sono simmetrici, onde non possono incontrare dopo la rifrazione l'asse secondario in un medesimo punto; ma mentre r' lo interseca in P, il secondo l'incontra in Q. Ma se con un diaframma si ristringa l'apertura della lente, si avrà un punto di concorso per i raggi giacenti in detto piano sensibilmente comune vicino a Q. I raggi No, o'O, i quali si trovano nell'altro piano, essendo perpendicolari al diametro ON sono simmetrici alla lente, e quindi dopo la rifrazione si incontreranno in un medesimo punto S dell'asse secondario. Si avranno adunque due fochi ben distinti, uno per i raggi che si trovano in piani verticali e l'altro per quelli, che giacciono in piani normali ai primi e per ciò sarà impossibile di avere un'immagine perfetta.

CAPO VII.

VISIONE

---

809. Succinta descrizione della struttura dell'occhio. — La teoria delle lenti ci porge il modo di dare spiegazione al fenomeno della visione, perchè l'occhio, come vedremo, può considerarsi quale una perfettissima ed ammirabile lente biconvessa. Appartenendo all'anatomia e fisiologia il fare conoscere tutte le parti, che costituiscono l'occhio, ed il loro particolare officio; noi ci limiteremo a dare una succinta descrizione di quelle parti principali, la cui nozione è necessaria per comprendere la causa della visione.

L'occhio dell'uomo ha presso a poco la forma di un globo sferico collocato in una cavità ossea del teschio umano, che appellasi *orbita dell'occhio*. Può il detto globo compiere diversi movimenti coll'aiuto di parecchi muscoli, alcuni dei quali lo fanno muovere in un piano verticale, altri in un piano orizzontale, ed altri lo fanno girare intorno ad un asse diretto dall'innanzi all'indietro. Il primo inviluppo, che forma il globo dell'occhio, è costituito di una membrana consistente e dura, e per ciò detta *sclerotica*, la quale dividesi in due segmenti di estensione diversa. Il segmento posteriore, che è il più esteso, è opaco d'un color bianco leggermente azzurro, e chiamasi *cornea opaca* o semplicemente *sclerotica*; l'altro rivolto al davanti ha una curvatura molto più pronunziata del primo segmento, è d'una trasparenza perfetta ed incoloro, e prende il nome di *cornea trasparente*, o semplicemente di *cornea*.

Attraverso della cornea trasparente scorgesi una membrana circolare, che costituisce una specie di diaframma teso verticalmente, il cui colore varia secondo gli individui e le razze, mostrandosi ora grigio, ora azzurro-chiaro, ora azzurro-oscuro, ora bruno, Questa membrana, la quale per la proprietà di poter essere di varii colori dicesi *iride*, ha nel suo centro un foro, che nell'uomo è circolare e che appellasi *pupilla*. Può la pupilla dilatarsi e ristringersi mediante la contrazione delle fibre, di cui è munita l'iride. Le fibre *raggianti*, ripiegandosi, dilatano la pupilla, le fibre *circolari*, contraendosi, la ristringono. Allorchè ci troviamo in una luce troppo intensa, che potrebbe abbagliare la vista, la pupilla a nostra in-

saputa si ristringe e fa che poca luce entri nell'occhio; ma se invece questa è debole, la pupilla si dilata e la luce vi passa in sufficiente quantità. Siccome tali cambiamenti di diametro si effettuano in un tempo bene apprezzabile, noi sentiamo abbagliarsi la vista, se istantaneamente passiamo dall' oscurità alla luce viva; che se dalla luce viva passiamo ad un luogo poco illuminato sul principio non vediamo distintamente gli oggetti.

Dietro all'iride ad una piccola distanza trovasi una lente biconvessa solida chiamata il *cristallino*, il cui asse è all'altezza della pupilla, e la cui faccia posteriore è più convessa dell'anteriore. Il cristallino è formato d'una capsula trasparentissima contenente dell' albumina e della gelatina in proporzioni tali, che questo liquido si coagula del tutto alla temperatura dell' acqua bollente. La lente cristallina non è omogenea in tutte le parti, ma è formata di strati sovrapposti, il cui indice di rifrazione va aumentando, come altrove abbiamo notato (762) dall'esterno all' interno. È poi sostenuta da una membrana pieghettata, detta *cornea ciliare*, appellandosi *processi ciliari* i suoi ripiegamenti triangolari. Il cristallino divide la cavità dell'occhio in due compartimenti di dimensioni diverse, chiamati *camera anteriore*, che è quella rivolta verso la cornea trasparente, e *camera posteriore*, che è quella rivolta verso il fondo dell'occhio.

La camera anteriore è piena d'un liquido appellato *umore acqueo*, che altro non è se non acqua contenente piccolissima quantità di gelatina e d' albumina: il suo indice di rifrazione non oltrepassa quello dell' acqua che di qualche millesimo. La camera posteriore è piena di una sostanza incolora trasparentissima, avente presso a poco la consistenza della gelatina ed appellasi *umore vitreo*. Il suo indice di rifrazione è più grande di quello dell'umor acqueo. L'umor vitreo, detto ancora *corpo vitreo*, è avvolto da una membrana delicatissima e trasparente chiamata *iaolide*, una parte della quale ricopre il cristallino, formando la capsula cristallina.

La sclerotica nella parte interna posteriore dell'occhio è coperta di una seconda membrana, detta *coroide*, dotata di fibre e vasi, pei quali aderisce alla sclerotica, ed ha la faccia anteriore tinta di una sostanza nera o pigmento, il quale negli albini manca del tutto. La coroide viene a formare in avanti i processi ciliari.

Nella parte posteriore dell'orbita vi è un foro, per il quale entra nell'occhio un grosso nervo detto *nervo ottico*, che dopo di avere attraversata la sclerotica e la coroide si distende, ramificando le sue fibrille, e forma così una membrana sottile, la quale prende il nome di *retina*, perchè costituita da una rete nervosa molto delicata, che copre il fondo dell'occhio, e si estende fino ai processi ciliari. Il suo spessore non è uniforme, ma ha un'ertezza massima al fondo dell' occhio, essendo ivi di 22 centesimi di millimetro, e va quindi assottigliandosi, cosicchè al suo lembo anteriore è di un'ertezza di $\frac{9}{100}$ di millimetro. I raggi di luce agendo sulla retina dànno causa al fenomeno della visione.

La retina è formata di varii strati soprapposti gli uni agli altri, tra i quali noi menzioneremo quello dei baccilli e coni. Tale strato

è costituito di *bastoncini*, che sono cilindretti lunghi da 63 ad 81 millesimi di millimetro, grossi 18 e formati di una sostanza assai rifrangente. Sono accalcati l'uno coll'altro come i pioli di una palizzata. Tra i bastoncini sono disseminati i coni più grossi, ma più brevi di loro e formati dalla medesima sostanza.

I bastoncini e coni sono di grandissima importanza, poichè costituiscono la parte della retina, che viene affetta dai raggi di luce. Difatti, vi sono dei processi, con cui si può riescire a vedere l'ombra dei vasi della propria retina. Spostando la sorgente luminosa, varia l'ampiezza dell'ombra, e dal rapporto, che passa tra lo spostamento del punto luminoso ed il relativo cambiamento delle dimensioni dell'ombra, può dedursi la distanza, che separa il corpo opaco e lo strato su cui l'ombra si rappiglia. Muller con tal mezzo è giunto a provare, che tale strato è quello dei baccilli (*).

810. Punto cieco e macchia gialla — Che i bastoncini ed i coni siano quelli che vengono modificati dalla luce, si prova ancora da che essi mancano nella parte della retina detta *punto cieco* o *macchia cieca*, la quale parte è insensibile alla luce, ed invece essi abbondano nella *macchia gialla*, che è la parte più sensibile alla luce. La macchia cieca trovasi al fondo dell'occhio e precisamente nel punto in cui il nervo ottico, attraversando la sclerotica entra nell'occhio. Helmholtz insegna a delineare il contorno del punto cieco. Tengasi un occhio chiuso, e tracciata una piccola croce sopra un foglio di carta orizzontale, si guardi questa croce coll'altr'occhio collocatole sopra ad una distanza dai 15 ai 20 centimetri. Tenendo sempre così fisso l'occhio, si faccia scorrere sulla carta la punta carica d'inchiostro d'una penna bianca, o poco scura: noi vedremo scomparire la detta punta tutte le volte che si troverà

(*) Il Dottor Franz Boll, allievo del Max Schultze e del Du-Bois-Raymond, ed ora professore di anatomia e fisiologia comparata nell'Università di Roma, nel preparare retine di rane e conigli scoprì che il tessuto retinico non era incoloro, e trasparente, ma bensì di un intenso color rosso. Proseguendo nelle sue ricerche e servendosi del microscopio, osservò che il colore rosso non era esteso a tutti gli strati della retina, ma solo a quello esclusivo dei membri esterni dei bastoncelli. Questo coloramento, che l'illustre scopritore chiamò *sehroth* (rosso della visione) è fugacissimo, rimanendo costantemente distrutto dalla luce, che arriva all'occhio. Da ciò forse è dipeso, che sia rimasto fino ad oggi sconosciuto. Nell'oscurità però si ripristina. La retina, che nell'oscurità sarebbe di un bel color rosso, sotto l'azione della luce diverrebbe bianca, comportandosi come una placca fotografica. In seguito alla comunicazione fatta dal Boll tanto all'Accademia delle Scienze di Berlino, che alla R. Accademia dei Lincei in Roma, altri fisiologi si sono posti a studiare questo importante fenomeno e specialmente Kühne professore di fisiologia nell'Università di Heidelberg. Dal complesso delle loro osservazioni risulterebbe: 1° Il coloramento proprio della retina nel suo strato esterno è rosso; 2° Questo colore viene distrutto dalla luce; 3° I diversi raggi luminosi non si comportano egualmente riguardo al coloramento retinico, esercitando i raggi più rifrangibili dello spettro azione più intensa, mentre i raggi rossi al pari dei gialli sono senza effetto; 4° La funzione del ripristinamento del colore della retina, distrutto dalla luce, appartiene alla coroide vivente, o meglio alle cellule pigmentarie esagonali dell'epitelio retinico, che una volta si descrivevano come appartenenti alla coroide. Il Prof. Kühne ha annunziato di aver potuto ottenere delle immagini fisse sulla retina corrispondenti ad oggetti esposti dinanzi a questa retina durante la vita.

nella projezione del punto cieco. Facendo pertanto scorrere la penna in tutte le direzioni, e segnando sulla carta i punti, in cui il suo estremo scomparisce e riapparisce, se si conduce una linea per tutti i punti suddetti, questa ci darà il limite della macchia cieca, la cui figura è un'ellisse alquanto irregolare, sui cui limiti si distinguono le origini dei tronchi vascolari più grossi.

Vicino al punto cieco, un poco verso la tempia, scorgesi sulla retina una macchia gialla, ed al centro di essa una depressione chiamata *fossetta centrale* o *fovea*. Il color giallo dipende da un pigmento speciale, di cui è provvista. La macchia gialla ha un numero grandissimo di bastoncini e coni, e per ciò è la parte della retina più sensibile alla luce. È la fovea la regione ove riesce meglio distinta la visione, e sopra di essa si dipinge l'immagine, di cui parleremo, del punto direttamente guardato. La percezione dell'immagine dipinta al difuori della macchia gialla diviene confusa, e ciò quanto più le parti della retina, ove l'immagine si forma, sono vicine ai lembi. È bene notare che quantunque il campo della visione sia tanto esteso, pure è ben piccola la parte di esso, la cui percezione si faccia in modo distinto. Noi acquistiamo in grazia dell'estensione del campo della vista una prima idea alquanto confusa di un quadro o di un paesaggio; poi la grande mobilità dell'occhio ci permette di portare successivamente la macchia gialla in diverse posizioni, per far dipingere successivamente su di essa le varie parti del quadro o paesaggio, e vederlo così distintamente. Leggendo un carattere stampato, noi ne vediamo bene distinte circa sei lettere, cioè il tratto di mezzo centimetro, al quale corrisponde nella retina uno spazio del diametro di due millimetri, in cui si dipinge l'immagine delle dette lettere, il qual diametro è presso a poco quello della macchia gialla. È per questa ragione che alla detta macchia dassi il nome di *punto assiopico* (luogo della visione più distinta).

811. Esperimento di Magendie. — L'occhio forma, come accennammo, una lente convergente, non già semplice, ma composta di un minisco convergente (cornea ed umor acqueo), di una lente biconvessa (cristallino) e di un minisco divergente (umor vitreo) (770). Tale sistema diottrico è totalmente adiatermico (706), poichè fatto comunicare colla retina un apparato termo-elettrico del Melloni non si ottiene il benchè minimo indizio di aumento di temperatura, quantunque avanti all'occhio esista una sorgente in pari tempo luminosa e calorifera. Posto poi un oggetto avanti all'occhio noi lo vediamo, perchè il sistema diottrico fa dipingere nella detta retina una precisa immagine capovolta dell'oggetto stesso. Questa verità scoperta da Keplero, è resa manifesta dal seguente esperimento dovuto a Magendie. Si prenda un occhio di coniglio, che è albino, ossia privo del nero pigmento, ed in una camera oscura si volga la pupilla di esso verso una fiaccola. L'osservatore posto dietro al globo oculare vede per trasparenza sulla retina un'immagine rovesciata del corpo luminoso. Tale esperienza può ancora eseguirsi con un occhio di bue, ma è allora necessario togliere alcuni strati della sclerotica, lasciando di questa membrana una sottilissima lamina traslucida. Si pone l'occhio così preparato

all'estremo di un tubo di cartone, e si volge la pupilla di esso ad un oggetto illuminato. Traguardando per l'altro estremo del tubo, si vede nella retina del bue impressa un'immagine rovesciata ed impiccolita dell'oggetto.

812. Formazione dell'immagine. — Ma come è, che nell'occhio formasi l'immagine rovesciata? Abbiamo veduto essere questo costituito da varie sostanze rifrangenti, il cui indice assoluto è ben noto. Sappiamo ancora (767) come si determini l'indice di rifrazione relativo di due sostanze, di cui si conoscano gli indici assoluti. Rappresentata quindi in carta una sezione meridiana di un occhio, si potrebbe determinare colla solita costruzione grafica l'andamento di più raggi che partono da un punto luminoso, e si vedrebbe che essi formano il foco coniugato in un punto della retina. Adunque le varie sostanze rifrangenti, che costituiscono l'occhio si possono realmente considerare come formanti un assieme, che produce l'effetto di una lente convergente. Sia pertanto l'occhio rappresentato da M (fig. 393), ed avanti ad esso sia collocato un oggetto AB. La linea S s, che passa per il centro della pupilla mn e per il centro del cristallino cp, si può considerare come l'asse ottico principale, ed un punto o, collocato presso a poco nel centro del globo oculare è il centro ottico del sistema. I raggi che sono emanati dal punto S posto sull'asse principale, e che attraversano la pupilla ed il cristallino, dopo di avere subite molte rifrazioni nel passare per tante sostanze rifrangenti, andranno a formare nel punto s della retina il foco reale coniugato di S. Condotte dai punti A, B le rette Aa, Bb che passino per il centro ottico o, si potranno queste considerare come assi ottici secondarii, ed i raggi emanati dai detti punti A, B formeranno i rispettivi fochi in a, b. Nella retina adunque si forma un'immagine ab impiccolita e rovesciata dell'oggetto AB, si verifica cioè la legge 3ª del paragrafo 774. I raggi che hanno già formata l'immagine e che si riflettono sono assorbiti e distrutti dal pigmento nero, che copre la coroide e la parte posteriore dell'iride, ossia l'*uvea*.

813. Facoltà d'adattamento. — Risulta da quanto abbiamo detto, che per vedere distinto un oggetto bisogna che la sua immagine si formi nella retina. Sarebbe quindi necessario, che il punto luminoso a (fig. 394) fosse collocato avanti all'occhio ad una distanza ac tale, che i raggi luminosi i quali partono da esso ed entrano nella pupilla siano così divergenti fra loro, che, ripiegandosi verso l'asse ottico per le moltiplici rifrazioni nell'occhio stesso subite, vadano a riunirsi precisamente nella retina, formando in f un punto, netta immagine del punto obbiettivo a. Se si allontani il punto luminoso a' i raggi che esso tramanda alla pupilla, e che penetrano in questa, saranno meno divergenti di prima, e deviando per le rifrazioni di tanto, di quanto prima deviavano, dovrebbero formare il foco in f' avanti alla retina, ed ivi intersecandosi, dovrebbero proseguire il cammino divergenti fra di loro, e produrre nella retina un cerchietto di diffusione mn. Che se al contrario la distanza $a''c''$ del punto luminoso dall'occhio sia minore di ac, i raggi entreranno nella pupilla troppo divergenti, onde il foco si dovrebbe formare in f'' dietro alla retina sulla quale si dipingerebbe

un cerchietto di diffusione *m' n'*. Formandosi per ciascun punto dell'oggetto un cerchio di diffusione sulla retina questi cerchi, sovrapponendosi, dovrebbero produrre un' *immagine di diffusione* tanto più confusa, quanto più grandi sono essi cerchi.

Ma come è che ciò realmente non succede, mentre è certo che noi possiamo vedere distintamente gli oggetti sì vicini che lontani? Rispondiamo ciò avvenire perchè l'occhio gode di una *facoltà di adattamento*, per la quale esso modifica se stesso in modo da essere meno rifrangente, quando è attraversato da raggi poco divergenti, perchè provengono da un oggetto lontano, e più rifrangente, quando, standogli vicino l'oggetto, questo gli invia raggi troppo divergenti. Che poi ciò sia vero si mostra coi seguenti esperimenti. Postici avanti ad una finestra aperta, miriamo attentamente gli oggetti lontani, e li vedremo bene distinti, mentre una spilla collocata contemporaneamente a circa 20 centimetri dalla pupilla ci apparisce allora come una linea nera mal limitata. Se al contrario senza nulla spostare rimiriamo la spilla, questa comparisce netta e gli oggetti lontani si veggono confusi. Consimile è quest'altro esperimento. Si distenda un velo nero a 15 centimetri circa di distanza dalla faccia, e 60 centimetri dietro a questo si disponga un libro aperto a grossi caratteri. Si troverà che volendo vedere il velo, le lettere compariscono confuse, mentre fissando lo sguardo in queste, il velo non si mostra più che come un oscuramento uniforme del campo visuale. Adunque l'occhio non può simultaneamente vedere due oggetti collocati a varie distanze, e bene ci accorgiamo dello sforzo che fa l'occhio per adattarsi a vedere or l'uno or l'altro.

814. Esperimenti di Cramer e di Helmholtz. — Quale è la modificazione che subisce l'occhio quando si adatta a vedere un oggetto o vicino o lontano? Molte sono state le ipotesi fatte fin qui, ma queste sono tutte cadute dopo le belle esperienze di Cramer e di Helmholtz. Allorquando si presenta avanti ad un occhio di un individuo ed un poco da un canto un corpo luminoso, ad esempio una fiaccola, si osservano nell'occhio tre immagini della fiaccola, due diritte ed una rovesciata. La prima immagine diritta è data dalla luce che si è riflessa nella cornea trasparente, la quale per questa parte di luce può considerarsi come uno specchio convesso, che produce un'immagine diritta, impiccolita e virtuale (756). La seconda immagine diritta, meno appariscente della prima è dovuta alla riflessione della luce nella faccia anteriore del cristallino, che può pure considerarsi come uno specchio convesso, ma meno curvo del primo, onde questa seconda immagine è più grande dell'altra. In fine la terza immagine nasce dalla luce che si riflette nella superficie interna posteriore del cristallino, la quale si comporta come uno specchio concavo, da cui, stando l'oggetto ad una distanza maggiore del centro di curvatura, si produce un' immagine reale rovesciata ed impiccolita (750). Queste immagini osservate la prima volta da Purkinje sono conosciute dai chirurgi sotto il nome d'*immagini di Sanson*, e da esse comprendono se una cecità provenga dall'essersi reso opaco l'umore acqueo od il cristallino; imperocchè divenuto opaco il cristallino, svanisce la terza immagine; offuscandosi invece l'umore acqueo, scompariscono la terza e la seconda,

Cramer ha studiate queste immagini col seguente apparato. In un lembo di una tavola T (fig. 305) si annetta con una morsa un'asta verticale l che regge un quadrante graduato orizzontale, il quale può a piacere essere elevato od abbassato. Su di questo si possono muovere tre alidade a, b, c, una delle quali c porta un tubo orizzontale t annerrito nell'interno, per il quale i raggi luminosi emanati dalla fiaccola F vanno ad incontrare il centro dell' occhio o, che si vuole osservare in una data direzione. Un microscopio m di piccolo ingrandimento è fissato nell'alidada a, e potendosi muovere orizzontalmente e verticalmente, si pone in modo da ricevere i raggi, che avendo attraversato il tubo t, si sono riflessi sulle varie superficie delle parti dell'occhio. L' alidada b porta un'asta verticale r ed è posta in maniera che divida l'angolo formato dalle altre due. Essa alidada denota la direzione dell' assè visuale, ed il vertice r serve come oggetto posto vicino all'occhio.

Allorchè l'occhio o fissava un oggetto lontano, vide Cramer per mezzo del microscopio m, che la pupilla era molto aperta e veniva a comparire come P (fig. 396), si vedevano poi le immagini come presenta la figura essendo c quella prodotta dalla cornea, b quella generata dalla superficie anteriore del cristallino, e p quella nata dalla superficie posteriore di questo. Che se l'individuo assoggettato all'esperimento si poneva a mirare l'oggetto vicino, la pupilla si ristringeva e compariva come P' : l'immagine c rimanendo inalterata, la b s' impiccoliva di molto, di poco assai la p: il che dimostrava che il cristallino addiveniva più convesso curvandosi assai di più la faccia anteriore che la posteriore.

Le esperienze di Cramer furono superate in precisione da quelle di Helmholtz, il quale allorchè le eseguì nulla sapeva dei lavori del primo. Con uno speciale apparato da lui detto *oftalmometro* ha misurato le immagini di Sanson, tanto nel caso in cui l' occhio osservasse un oggetto lontano, quanto nel caso in cui mirasse l'oggetto vicino, e dalla grandezza dell' immagine ha dedotto la lunghezza del raggio di curvatura della superficie anteriore del cristallino in ambedue le disposizioni. In un esperimento ha trovato che nel primo caso essendo il detto raggio mm. 11,9, diveniva nel secondo mm. 8,6. In un altro individuo questi raggi furono nei due diversi casi mm. 8,8, mm. 5,9.

Da questi esperimenti è risultato, che l'occhio nel suo stato naturale e di riposo è disposto a vedere gli oggetti lontani, e che si adatta a vedere gli oggetti vicini col ristringere la pupilla, non facendo così entrare i raggi troppo divergenti, e coll'aumentare la convessità del cristallino, rendendo così questo corpo più rifrangente.

Un altro cambiamento fu notato da Helmholtz, ed è che l' orlo pupillare dell'iride si avanza alquanto verso la cornea. Per constatare questo spostamento si opera così; si faccia chiudere un occhio alla persona che si assoggetta all'esperimento, e posti due oggetti uno vicino e l'altro lontano, ma ambedue nel medesimo asse visuale dell'altr'occhio, si ordina al detto individuo di guardare l'oggetto lontano. Intanto chi fa l' esperienza si mette da un lato in modo da vedere di profilo ed un poco dal di dietro al davanti la

cornea dell'occhio osservato, in guisa però che il lembo della sclerotica coincida con quello della pupilla. Se allora si ordina al primo individuo di guardare l'oggetto vicino, tosto l'altro vede avanzarsi la pupilla, cosicchè gli si rende visibile anche una parte dell'iride. Ancora la parte anteriore del cristallino, incurvandosi, avvicina il suo centro alla cornea, e poichè, come risulta da molte osservazioni, con ciò non si varia nè il volume dell'umor acqueo, nè la curvatura della cornea, si deve dedurre, che mentre l'orlo pupillare dell'iride si spinge innanzi, l'orlo periferico si porta indietro, lasciando invariata la capacità della camera anteriore.

815. Occhio normale. — Punto prossimo. — Punto remoto. — Si è poco fa detto, che l'occhio nello stato di riposo è accomodato per vedere gli oggetti lontani; nel qual caso l'organismo non fa alcuno sforzo. Ma se ci poniamo ad osservare un oggetto vicino, l'organismo agisce, e contraendosi il muscolo *ciliare*, fa allentare la membrana, in cui è incassata la lente cristallina, ed allora è, che questa s'incurva di più specialmente nella superficie anteriore. Helmholtz fa osservare, che negli occhi dei cadaveri il cristallino è più convesso, che quello dell'uomo vivo, precisamente perchè la membrana, la quale regge il cristallino, nel cadavere è rilasciata. Ha fatto ancora vedere, che stirando la detta membrana nell'occhio del cadavere, la lente si appiana. Si voglia adesso sapere qual sia il confine di questo attivo adattamento dell'occhio. Avvicinando un poco alla volta un occhio alla pagina d'un libro, si cerchi qual sia la più piccola distanza, alla quale i caratteri sono veduti distintamente, in guisa che se l'occhio si avvicinasse di più, i caratteri diverrebbero confusi, perchè i raggi formerebbero i fochi dietro alla retina, sulla quale si dipingerebbero i cerchi di diffusione. Questo punto più vicino all'occhio, in cui si può vedere distintamente un oggetto minuto, dicesi *punto prossimo*, che per un occhio normale si trova ad una distanza di circa 11 centimetri. Si appella poi *punto remoto* quello, che trovasi alla massima distanza, a cui l'occhio può vedere distintamente un oggetto. L'occhio normale è tale, da far formare nella retina il foco dei raggi paralleli, dei raggi cioè che possiamo immaginare provenienti da un punto collocato ad una distanza illimitata. Ond'è che si può dire, che per un occhio normale il punto remoto è all'illimitato. Siccome poi i limiti dell'adattamento sono i punti remoto e prossimo, si dovrà conchiudere, che l'occhio normale vede gli oggetti collocati ad una distanza illimitata, e per uno sforzo sempre crescente di adattamento vede distinti tutti gli oggetti posti a varie distanze dall'illimitato a quello di 11 centimetri.

816. Miopismo. — L'occhio che fa formare nella retina il foco dei raggi paralleli, viene detto da Donders occhio *emmetrope*. Che se l'occhio sia troppo convergente, o troppo lunga sia la sua camera posteriore, i raggi paralleli formeranno il foco avanti alla retina, sulla quale avrà luogo un cerchio di diffusione. Tale occhio non vede distinti gli oggetti lontani, ma ben distinti gli appariscono quelli che stanno assai vicini, perchè questi gli inviano raggi tanto divergenti, da formare il foco conjugato nella retina. A tale difetto dassi il nome di *miopismo*, e si corregge coll'usare

lenti divergenti, allorchè si vogliono vedere gli oggetti collocati in distanza.

817. Ipermetropia. — Un altro difetto opposto al precedente è l'*ipermetropia* e si ha quando l'occhio è dotato di poco potere rifrangente, ovvero quando è troppo corta la camera posteriore, in modo che i raggi paralleli e molto più i divergenti vanno a formare il foco dietro alla retina, sulla quale si rappiglia un cerchio di diffusione. Chi ha questo difetto non può vedere distinti gli oggetti lontani e molto meno i vicini, e gli è necessario usare d'una lente divergente tale, che senza fatica dell'occhio gli renda ben visibili gli oggetti lontani. Il naturale accomodamento dell'occhio gli farà bene scorgere, mediante la stessa lente, anche gli oggetti vicini (*).

818. Presbitismo. — I due sopramenzionati difetti riguardano l'occhio, che trovasi in stato di riposo: quello, di cui ora parleremo ha invece relazione alle facoltà d'adattamento, cosicchè può appartenere all'occhio emmetrope, al miope ed all'ipermetrope. Allorchè l'uomo invecchia, il muscolo ciliare perde la sua energia, ed il tessuto del cristallino addiviene meno elastico; per la qual cosa con difficoltà l'occhio si adatta a vedere gli oggetti vicini, e quindi la distanza del punto prossimo si fa maggiore. Questo difetto si appella *presbitismo*, e ci accorgiamo di esso col leggere un libro, il quale il presbite deve porre ad una distanza maggiore del consueto, il che riesce incomodo, perchè si dovrebbe illuminare vivamente il libro, essendo l'intensità della luce nella ragione inversa dei quadrati delle distanze (738). Il presbite ha bisogno, che gli oggetti vicini mandino agli occhi raggi poco divergenti, e perciò quando osserva un oggetto vicino, deve usare occhiali convergenti, tra i quali sceglierà quelli, con cui potrà leggere distintamente un libro collocato alla consueta distanza. Una paralisi del muscolo ciliare può cagionare il presbitismo anche in un giovane.

819. Astigmatismo. — Se le lenti sferiche possono rimediare ai precedenti difetti, non sono valevoli a correggerne un altro detto *astigmatismo*, che è proprio di alcuni individui, i quali non veggono distintamente gli oggetti in tutte le loro parti. Se avanti ad un occhio, che abbia il detto vizio, si ponga un oggetto fatto a quadrati con bastoni, alcuni verticali, altri orizzontali, l'occhio non vede distintamente che i primi, ovvero i secondi. Tale anomalia nasce da che quell'occhio in differenti piani paralleli al suo asse non ha un egual potere rifrangente. Supponiamo, ad esempio, che il potere rifrangente sia maggiore nel senso dei piani verticali, che in quello dei piani orizzontali, perchè il bulbo oculare è più curvo nel senso dei primi, che in quello dei secondi. Se i raggi, che invia un oggetto posto ad una certa distanza secondo un piano

(*) Si noti, che molti, tra i quali il Ch^mo Lussana, chiamano *ametropia* l'esposto difetto, riservando il nome d'*ipermetropia* al difetto contrario consistente nella soverchia rifrangibilità dell'occhio. La miopia e l'ipermetropia diversificherebbero nel grado, in quanto che il miope vede almeno distinti gli oggetti vicini, ma l'ipermetrope non scorge neanche questi.

verticale, vanno ad incontrarsi nella retina, gli altri diretti nel senso di un piano orizzontale, rifrangendosi di meno, formeranno il foco dietro alla retina. Si rimedia a tal difetto coll'usare lenti a superficie cilindrica, la cui generatrice sia verticale. I raggi giacenti in piani verticali non provano alcuna rifrazione nell'attraversare la lente, perchè hanno il piano d'incidenza parallelo alla generatrice, che è una retta, e perciò è come attraversassero una lastra di vetro a superficie piane e parallele (766). Viceversa i raggi, che si propagano in piani orizzontali, battono nella lente cilindrica in una sezione perpendicolare all'asse e perciò curva, onde si rifrangono, come se attraversassero una lente convergente sferica. Se il maggior potere rifrangente fosse nel senso dei piani orizzontali, gli assi dei cilindri dovrebbero porsi in direzione orizzontale.

820. Acromatopsia. — Vi sono degli individui, i quali non possono distinguere, che alcuni colori spettrali, ossia hanno l'occhio insensibile a qualcuno dei colori. Questo difetto prende il nome di *acromatopsia;* che se il vizio è tale, che non si discernano nello spettro se non due soli colori, allora dicesi *discromatopsia* ed anche *daltonismo* dal nome di Dalton, che aveva tale difetto. Per spiegare questa anomalia, si ammette, che siano varie le fibre nervose della retina, le quali sono impressionate dai varii colori, come nell'orecchio sono varie le fibrille scosse dalle diverse note (277). Una paralisi delle fibrille, che sono modificate da un dato colore primitivo, spiegherebbe l'insensibilità dell'occhio per il medesimo.

821. Acromatismo dell'occhio. — L'occhio essendo costituito di varie sostanze dotate di potere rifrangente diverso è acromatico (801), ma non lo è perfettamente, come osservò Fraunhofer, ed eccone la prova. Si faccia cadere la luce solare sopra un vetro violetto tale, che lasci passare i raggi estremi dello spettro, cioè i rossi ed i violetti, intercettando gli altri cinque intermedî. Se poniamo tra l'occhio ed il vetro uno scrimaglio munito d'un foro piccolissimo, potremo considerare questo foro come un punto luminoso, da cui emanano raggi rossi e violetti. Adattandosi l'occhio per i raggi rossi (fig. 397), il foco dei raggi violetti v (a) andrà a formarsi innanzi alla retina: ci apparirà quindi un punto rosso circondato da un'aureola violetta dovuta al cerchio di diffusione mn dei raggi violetti. Che se l'occhio si adatti per i raggi di questo ultimo colore (b), vedremo un punto violetto circondato da un'aureola rossa, perchè in questo caso il foco dei raggi rossi si forma in r' dietro alla retina, sulla quale si dipinge il cerchio di diffusione $m'n'$. Ma si supponga, che l'occhio siasi adattato (c) per il colore intermedio, cioè per il verde, ci si mostrerà un colore uniforme, perchè formandosi il foco dei raggi rossi in r'' e quello dei violetti in v'' ad eguale distanza dalla retina, i cerchi di diffusione sono eguali e si sovrappongono in $m''n''$. Se si vuole leggere un'iscrizione in caratteri rossi sopra un fondo verde-chiaro d'eguale splendore, si prova una fatica nell'occhio, perchè questo fa uno sforzo continuo per cercare di vedere distintamente due oggetti colorati, che non possono formare simultaneamente la loro immagine sulla retina. Colori diversi dal rosso e dal verde pro-

ducono l'istesso effetto, ma in un grado minore. Se nonostante l'imperfetto acromatismo dell'occhio, le immagini non appariscono fimbriate dei varii colori, ciò avviene perchè i raggi, i quali penetrano nella pupilla, sono poco divergenti, e per ciò poco deviati, onde non è molto avvertita la dispersione della luce.

822. Aberrazione di sfericità nell'occhio. — Essendo l'occhio una lente di notevole grandezza, dovrebbe presentare l'aberrazione di sfericità (802); ma siccome noi vediamo distintissimi gli oggetti, convien dire, che il detto difetto è corretto. Tal correzione è prodotta dal vario indice di rifrazione dei diversi strati del cristallino (809), il quale, essendo meno rifrangente nei lembi che nella parte centrale, fa che i raggi di luce, i quali battono sull'orlo, vadano a formare il foco nel punto, ove s'intersecano i raggi centrali. Come però non è perfettamente acromatico l'occhio, così esso non è perfettamente aplanatico, come ha dimostrato Volkmann con un esperimento, ad intendere il quale è necessario riferirne un altro eseguito da Scheiner.

In una carta si fanno due forellini in una medesima verticale ad una vicendevole distanza minore del diametro della pupilla. Si pone la carta avanti ad un occhio, e per i fori si guarda un oggetto lontano e chiaro, come un muro bianco, che possa vedersi distintamente, la cui immagine cioè si formi nella retina. Si pone allora dietro alla carta ed assai vicino a questa un oggetto sottile, quale sarebbe una spilla; questa comparirà confusa, perchè l'occhio è adattato a vedere gli oggetti lontani (813) ma si vedrà doppia, perchè i due fasci di luce, che, partendo dalla spilla, passano per i due fori, s'intersecheranno in un medesimo punto collocato dietro alla retina, e battono in questa su due punti distinti: per il che essendo due i cerchietti di diffusione, si dovranno avere due immagini confuse (*). Dopo ciò riescirà chiaro l'esperimento, con cui Volkmann ha constatato non essere l'occhio perfettamente aplanatico.

In una carta si facciano quattro forellini in una stessa verticale in una retta minore del diametro pupillare. Posta la carta avanti all'occhio, si avvicini ad essa la punta d'una spilla, della quale, per la ragione testè detta, si percepiranno quattro immagini. Chiudendo alternativamente i fori medii ed estremi, si conoscerà quali siano le immagini relative ai primi, e quali quelle che, proven-

(*) Sull'esperimento di Scheiner è basata la costruzione dell'*optometro*, apparecchio che serve a misurare il limite della *visione distinta*, ossia la distanza, a cui senza sforzo un occhio vede un oggetto minuto. Sopra ad una carta colla punta d'un ago si pratichino due forellini in direzione orizzontale ad una distanza minore del diametro pupillare. Posta vicino all'occhio questa carta, si guardi attraverso dei forellini un filo verticale di seta fissato ad un vetro di fronte alla luce. Se questo si avvicini o si allontani dalla carta, sembrerà doppio, ma vi sarà un punto intermedio, in cui si vedrà semplice. A tale distanza corrisponde quella della visione distinta. Si supponga, che il diaframma coi due forellini, ed il vetro con il filo di seta siano posti dentro ad un medesimo tubo graduato in modo che per mezzo d'una vite si possano fra loro avvicinare. L'individuo che vuole misurare la sua vista, deve, girando la vite, allontanare od avvicinare il vetro al diaframma, finchè non vede il filo semplice. Questa distanza, letta sul tubo, indica quella della sua visione distinta.

gano dai secondi. Dopo ciò si allontani la spilla dall'occhio, e con ciò si otterrà di ravvicinare i fochi coniugati alla retina, ed arriverassi in un punto, in cui le immagini relative ai fori periferici si fondono insieme: quando ciò avvenga, saremo certi, che i raggi periferici formano il foco precisamente nella retina. Proseguendo ad allontanare la spilla, vedremo che invece delle prime si fondono insieme le altre due immagini. Tutto ciò prova, che i raggi centrali e periferici non formano il foco nello stesso punto, e che per conseguenza l'occhio non è perfettamente aplanatico. Ha veduto Volkmann, che per lo più l'aberrazione è simile a quella delle lenti comuni, cioè i raggi marginali fanno il foco più vicino alla retina, ma che qualche volta è il foco dei raggi centrali quello, che più alla retina si appressa, come ancora che qualche volta tutte quattro le immagini si possono fondere insieme, nel qual caso l'occhio è perfettamente aplanatico.

823. Angolo visuale — Sensibilità dell'occhio. — La grandezza apparente di un oggetto dipende dalla grandezza dell'immagine che si dipinge nella retina, la quale è proporzionale all'*angolo visuale* od *ottico* (fig. 398) *boa*=BOA, all'angolo cioè formato da due rette, che partendo dagli estremi A, B dell'oggetto, si incrociano nel centro ottico dell'occhio: e poichè quanto più lontano è l'oggetto, tanto più piccolo è quest'angolo, come vedesi in figura; la grandezza apparente dell'oggetto decresce colla distanza. I muri paralleli A″A, B″B di un lungo corridoio ci sembrano convergenti, perchè quanto più essi si discostano da noi, tanto minore ci apparisce la loro mutua distanza AB, A′B′, A″B″....., decrescendo sempre più l'angolo ottico.

Se l'angolo visuale è piccolissimo, anche l'immagine sarà estremamente piccola, e quasi si confonderà in un punto: quindi le parti dell'oggetto non si vedranno più distinte. Similmente due punti distanti da noi e posti l'uno vicino all'altro, cosicchè l'angolo formato da due raggi, che spiccati dai due suddetti punti vadano all'occhio, sia piccolissimo, non si vedono distinti fra loro, perchè l'occhio non è capace a discernere la distanza che li separa.

La sensitività ed acutezza della vista è stata studiata col tracciare due rette bianche parallele e bene illuminate sopra un fondo nero, e si è conosciuto, che le suddette rette non si vedono più separate, se la loro distanza angolare è minore di 73″. Ora due linee che diano un angolo di 73″ formano le immagini nella retina distanti fra loro di mm. 0,00526, e poichè il diametro dei coni retinici (809) nella macchia gialla secondo Kölliker variano da mm. 0,0045 a mm. 0,0057, se ne deduce, che i detti coni sono gli elementi anatomici che trasmettono le sensazioni isolate, in guisa che, onde si veggano due punti separati, è necessario che la distanza delle loro immagini nella retina sia maggiore della larghezza di uno dei coni, altrimenti quelle due immagini cadranno o sopra uno stesso elemento, o su due elementi contigui. Nel primo caso le due immagini non potranno provocare che una sensazione unica, e nel secondo male si potrà decidere se si ha da fare con due punti luminosi, ovvero con un solo, la cui immagine cada sulla linea di contatto di due elementi. Non sarà adunque che nel caso

in cui la distanza delle due immagini, o almeno dei due centri delle medesime, sia maggiore della larghezza di un elemento percettore ossia di un cono, che quelle immagini possono formarsi sopra due elementi distinti separati da un terzo, che o non riceverà luce, o ne riceverà meno di quei due.

824. Visione binoculare. — Noi riferiamo l'oggetto, che ha tramandato raggi al nostro occhio, all'estremo dei raggi, che, emanati da esso, sono passati irrefratti per il centro ottico; quindi è che vediamo gli oggetti fuori dell'occhio, mentre le immagini trovansi entro a questo; li vediamo dritti, quantunque le immagini siano rovesciate; vediamo un solo oggetto, sebbene due siano le immagini, cioè una per occhio. Perchè però non veggasi duplicato un punto obbjettivo, è necessario, che le due immagini si formino in *punti identici*, cioè nei centri delle macchie gialle, o ad eguali distanze da questi centri e da una medesima parte, cioè o a sinistra o a destra o in alto o in basso. Difatti, se con un dito si faccia un poco spostare il bulbo d'un occhio, gli oggetti compariscono doppi, perchè mentre in un occhio l'immagine si forma nella fovea, nell'altro formasi in un punto diverso. Chiudendo un occhio e poi riaprendolo rapidamente, nel primo istante l'oggetto guardato spesso apparisce doppio, perchè l'occhio, che era aperto, volgeva il suo asse visuale all'oggetto, ma non l'altro, e perciò, finchè questo non dirige l'asse all'oggetto medesimo, le immagini non cadono in punti identici, e l'oggetto deve comparir doppio. Dalla metà della linea, che congiunge i due occhi, s'immagini condotta in avanti una normale, e lungo questa si piantino tre lunghi ferri da calze. Se gli assi visuali dei due occhi si volgano ad uno di essi, questo si vedrà unico perchè le sue immagini si formano in punti identici delle fovee; ma gli altri due ferri compariranno doppi, perchè le immagini di ciascuno di essi hanno luogo in punti simmetrici delle retine, ma non già in punti identici. È degno di menzione il seguente esperimento dovuto a Wheatstone. Si guardi un oggetto *a* (fig. 399) attraverso di due tubi anneriti, agli estremi dei quali si applicano gli occhi *o*, *o'*, essendo gli altri estremi rivolti verso *a*. Pongansi invece due oggetti perfettamente eguali in *b*, *b'*, ovvero in *c*, *c'*; purchè siano nelle direzioni *o a*, *o'a*, ci sembrerà sempre vedere un solo oggetto collocato in *a*. Ciò vuol dire, che le immagini dei due oggetti si confondono insieme, perchè si formano nelle retine in punti identici.

Se noi volgiamo gli assi visuali dei due occhi ad un oggetto, lo vediamo distinto ed unico; ma anche gli oggetti a lui vicini ci compariscono confusi sì, non già duplicati, e ciò perchè le loro immagini si rappigliano nelle retine fuori delle macchie gialle, ma in punti identici. Ora quella superficie o quella linea, che congiunge gli oggetti che nello spazio ci compaiono semplici e non doppi, quando guardiamo un dato punto, chiamasi *oroptero*. Se per il punto guardato e per i centri ottici dei due occhi si supponga passare una circonferenza, questa sarà l'oroptero. Difatti, si rappresentino in un foglio di carta la sezione orizzontale degli occhi ed il punto preso di mira, e si conduca la detta circonferenza: sarà cosa facile il verificare, che spiccando da un qualunque punto

di essa periferia due rette, che passino per i centri ottici, queste vanno a terminare in punti identici delle due retine: il che non avviene quando le due rette si facciano partire da un altro punto qualunque preso o dentro o fuori di quel cerchio. È poi cosa manifesta che l'oroptero sarà tanto più esteso, quanto più distante sia l'oggetto a cui si rivolgono gli assi visuali.

È qui necessario riflettere, che i due occhi d'un osservatore non godono di prospettive identiche, ma trovansi nelle condizioni stesse di due spettatori, che da punti diversi guardano nello stesso tempo e con un solo occhio un medesimo oggetto. In altre parole, vi è una piccola differenza fra le immagini d'un oggetto impresse nei due occhi. Per assicurarci di questa verità pongasi un cubo ad una piccola distanza dagli occhi ed in modo, che lo spigolo verticale anteriore ed il posteriore cadano in un piano, che sia perpendicolare alla retta, la quale unisce i centri dei due occhi e la bisechi. Si guardi il cubo col solo occhio destro, chiudendo il sinistro. La faccia D (fig. 400) posta alla destra dell'osservatore apparirà più larga della G posta a sinistra (*a*). Che se al contrario si guardi il cubo col solo occhio sinistro, chiudendo il destro, la faccia G comparirà più larga di D (*b*); la qual differenza della grandezza apparente delle due facce è tanto più spiccata, quanto più vicino è il cubo agli occhi. Tale diversità delle due immagini fu osservata la prima volta da Leonardo da Vinci, e Wheatstone ha fatto conoscere, che essa serve a rendere visibili le tre dimensioni dell'oggetto, ossia a farcelo vedere in rilievo, e che influisce ancora a farci apprendere la distanza, a cui trovasi l'oggetto. Ognuno si può accertare di ciò col seguente facile esperimento. Si chiuda un occhio e coll'altro si guardi un oggetto posto avanti ad un muro ed a piccola distanza da esso: apparirà come se toccasse il muro. Dopo che siano scorsi due minuti, aprasi l'altro occhio, e si vedrà, per così dire, l'oggetto staccarsi dalla parete, mostrandosi nella sua vera posizione con uno spazio libero dietro di sè, e ad una distanza bene apprezzabile dal muro (*).

Il ch.mo prof. Augusto Righi ha ideato un apparecchio detto *Polisteroscopio*, col quale ben si può determinare l'effetto della visione binoculare. Consiste questo in due specchi posti l'uno di fronte all'altro, e che possono avvicinarsi od allontanarsi e prendere varia inclinazione. Si applicano gli occhi in due tubi consimili a quelli d'un binocolo, ma privi di lenti, e mentre con un occhio si guarda un oggetto lontano direttamente, coll'altro se ne mira l'immagine nata dalla doppia riflessione fatta dai due specchi. Sarà come il secondo occhio fosse collocato ad un'assai maggiore distanza dal primo, e l'aumento dell'angolo prodotto dalle due visuali fa che esagerato apparisca il rilievo.

825. Stereoscopio. — Sulle cose ora esposte è fondato quel

(*) Se la visione binoculare influisce a farci vedere gli oggetti in rilievo e distaccati, non basta da sè sola a darci la nozione della distanza, la quale si ha anche dai monocoli. La detta nozione nasce dal confronto, che si fa, della grandezza reale e nota dell'oggetto, e dell'apparente, e dalla vista contemporanea degli oggetti interposti.

comunissimo apparecchio ottico chiamato *stereoscopio* dovuto a Wheatstone e perfezionato da Brewster. Due prismi P,P' (fig. 401) tagliati in una lente convergente sono fissati l'uno vicino all'altro in modo che le due basi siano al di fuori, nella parte superiore d'una scatola di legno, nel cui fondo sono collocate due immagini fotografiche *ab*, *a'b'* d'un medesimo oggetto, non già egualissime fra loro, ma presentanti quella medesima diversità, che hanno le immagini retiniche d'un osservatore il quale direttamente guardi l'oggetto stesso. La distanza, che passa tra le lenti e le figure deve essere minore della distanza focale dei prismi, ed un tramezzo opaco C deve separare il prisma e la figura collocati a sinistra dal prisma e figura posti a destra. L'occhio sinistro posto in G riceve attraverso del prisma P' un'immagine virtuale ed ingrandita di *ab* situata in AB (774), mentre l'occhio destro posto in D vede per il prisma P un'immagine virtuale di *a'b'* ingrandita e posta pure in AB. Le immagini virtuali adunque si confondono in AB, cioè nei due occhi si formano le immagini in punti identici e con quella diversità, che si avrebbe, se l'oggetto rappresentato da *ab*, *a'b'* fosse posto in AB e direttamente osservato dai due occhi collocati in D e G, onde saranno ben percepiti i rilievi dell'oggetto.

CAPO VIII.

MICROSCOPII

826. *Microscopio semplice* — 827. *Deublet* — 828. *Microscopio solare* — 829. *Camera chiara di Wollaston* — 830. *Id. di Amici* — 831. *Id. di Nachet* — 832. *Principio del microscopio composto* — 833. *Obbiettivi acromatici* — 834. *Id. a correzione* — 835. *Id. ad immersione* — 836. *Angolo d'apertura e campo del microscopio* — 837 *Oculari* — 838. *Forma del microscopio composto* — 839. *Microscopio binoculare* — 840. *Modo d'illuminare gli oggetti* — 841. *Misura dell'ingrandimento del microscopio* — 842. *Misura dell'estensione superficiale del campo* — 843. *Misura delle dimensioni d'un oggetto.*

826. Microscopio semplice. — Abbiamo detto (823), che la grandezza dell'immagine, che si forma nella retina, dipende dall'angolo ottico, in modo che, se questo è piccolissimo, piccolissima è ancora quella, e non si possono per ciò distinguere le varie parti dell'oggetto. Ora l'angolo visuale può esser piccolo o perchè l'oggetto è piccolo in se stesso, o perchè è collocato a grandissima distanza. L'ottica ha reso alla scienza immenso vantaggio coll'inventare i *microscopii* ed i *cannocchiali* o *telescopii*, che rendono visibili i primi gli oggetti piccoli, i secondi gli oggetti lontani. Nel presente capo parliamo dei microscopii.

Il microscopio *semplice* è costituito d'una lente biconvessa di cortissima distanza focale, avanti a cui si pone l'oggetto minuto,

che si vuole osservare, ad una distanza piccolissima cosa minore della distanza focale, nel qual caso, come sappiamo (774), deve formarsi un'immagine virtuale e grandissima. Sia in vero (fig. 402) L la lente biconvessa, il cui centro ottico sia O: rappresentino F, F' i fochi principali ed AB l'oggetto minuto da esaminarsi. Condotto il raggio AG parallelo all'asse principale e guidato pure l'asse secondario AO, veniamo a conoscere, che in A' si forma l'immagine di A, e nel medesimo modo si prova essere B' l'immagine di B, ed A'B' tutta l'immagine dell'oggetto AB. Rammentiamoci, che quando vogliamo vedere ben distinto un oggetto lo dobbiamo porre alla distanza della visione distinta, che per un occhio ben conformato suole essere di 25 a 30 centimetri. Perchè adunque la detta immagine A'B' si vegga ben distinta è necessario, che si formi alla distanza della visione distinta, la qual cosa facilmente ottiene l'osservatore coll'avvicinare od allontanare l'oggetto dalla lente, finchè non vede ben distinte le parti più minute. Trovandosi l'oggetto vicinissimo al foco principale F, noi possiamo senza pericolo d'errore sensibile prendere la distanza dell'oggetto dalla lente come eguale alla distanza focale. Ciò notato, si osservino i due triangoli simili ABO, A'B'O, nei quali le basi debbono essere proporzionali alle altezze, per cui avremo

$$AB : A'B' = FO : dO$$

cioè la grandezza dell'oggetto sta a quella dell'immagine, come la distanza focale della lente sta alla distanza della visione distinta. Adunque quanto più corta è la distanza focale, tanto maggiore è l'ingrandimeuto che si ottiene.

827. Deublet. — Invece d'una sola lente si può far uso di due, collocate l'una vicino all'altra e separate da un diaframma avente un foro in mezzo. Con questo sistema si ottiene un ingrandimento notevolissimo. Difatti, sia AB (fig. 403) l'oggetto, ed A'B' l'immagine formata colla lente L. Presa essa immagine come oggetto relativamente alla seconda lente C, vedremo colla solita costruzione che l'immagine addiviene A''B''. A questo apparato dovuto a Wollaston dassi il nome di *deublet*.

828. Microscopio solare. — È basato il *microscopio solare* sulla legge (774) che, posto un oggetto avanti ad una lente convergente ad una distanza maggiore piccolissima cosa della distanza focale, si forma un'immagine reale, rovesciata e molto grande. L'apparecchio suddetto è così formato. S'introducono in una camera oscura i raggi solari per mezzo d'un *porta-luce*, ossia per mezzo d'uno specchio piano MN (fig. 404) fissato all'esterno d'un foro praticato sull'imposta di una finestra, e che per mezzo di viti può prendere qualunque inclinazione necessaria, perchè esso specchio rifletta i raggi solari parallelamente all'asse del foro suddetto. Nell'ingresso della camera i raggi solari s'imbattono in una o due lenti convergenti L, L', che li obbligano ad intersecarsi in un punto. Vicino a questo si pone il piccolo oggetto APB sottile in modo da essere quasi trasparente e collocato fra due cristalli; il quale oggetto per tale disposizione rimarrà molto illuminato. Le parti descritte sono contenute in un tubo che si avvita al porta-

luce. Una piccola lente convergente C di cortissima distanza focale ed acromatica può per mezzo di una vite allontanarsi ed avvicinarsi all'oggetto AB. Questa lente si dispone in modo, che l'oggetto si trovi vicinissimo al foco principale, ma fuori della distanza focale. Scorgesi nella figura, che dovrà aversi l'immagine A'B', la quale si rappiglia in uno scrimaglio collocato in P' foco coniugato di P, il che otterremo coll'avvicinare più o meno la lente C all'oggetto, finchè non vediamo dipingersi nel diaframma l'immagine con molta chiarezza e precisione. Spesso per avere un maggiore ingrandimento, invece della lente C se ne usano due o tre collocate vicinissime fra loro entro ad un tubetto. Per misurare l'ingrandimento si considera CP come eguale alla distanza focale CF, e per i triangoli simili ACB, A'CB' si potrà fare

$$AB : A'B' = CF : CP'.$$

Sarà adunque l'ingrandimento tanto maggiore, quanto più piccola è la distanza focale della lente. Non potendosi sempre utilizzare per l'esperienze microscopiche la luce solare, ricorsero i fisici ad altre sorgenti luminose artificiali, e così si ebbero il *microscopio a gas* ed il *microscopio foto-elettrico.*

829. Camera chiara di Wollaston. — Al microscopio composto, di cui parleremo in appresso, e di cui si fa tant'uso in medicina, suole stare congiunta una *camera chiara*, e però è bene di far parola di questa prima di descrivere il suddetto microscopio.

La camera chiara è un apparato ottico, che permette di disegnare gli oggetti, tracciando sulla carta con una matita il contorno della loro immagine formata dall'apparato. Tale istrumento, come l'inventò Wollaston, consiste in un prisma di cristallo, la cui sezione è un quadrilatero ABCD (fig. 405), nel quale l'angolo A è retto, l'angolo C è di 135°, e gli angoli D, B eguali fra loro sono di 67°, 5. Suppongasi che un raggio luminoso MT provenga da un oggetto lontano e cada perpendicolarmente sulla faccia AD. Esso entrerà irrefratto, ed andrà a battere in I. Sarà i l'angolo d'incidenza, ed essendo a complemento di b, e b complemento di i, si avrà $a = i$, cioè $i = 67°, 5$, angolo maggiore dell'angolo limite (765). Adunque il raggio MT si rifletterà, andando a battere sul terzo lato nel punto K. L'angolo b è di 22°, 5, perchè è complemento di i, ed anche e, complemento di d, è di 22°, 5. Siccome poi l'angolo C è eguale a 135°, così sarà $g = 180° - C - e = 180° - 135° - 22°, 5$; cioè $g = 22°, 5$, e quindi f suo complemento verrà eguale a 67°, 5, angolo superiore all'angolo limite. Avrà adunque luogo un'altra riflessione totale, ed il raggio di luce prenderà la direzione KL. L'angolo di riflessione h è eguale a 67°, 5, e quindi il suo complemento l verrà di 22°, 5; onde per il triangolo BKV, essendo $B = 67°, 5$, e $l = 22°, 5$, sarà $V = 90°$. Il raggio pertanto emergerà dal lato AB normalmente. La pupilla dell'occhio O posto sopra all'angolo B riceve il raggio due volte riflesso e riporta l'oggetto nel prolungamento di VL, vede cioè l'immagine dell'oggetto, che ha tramandata la luce, nel punto R d'un sottoposto foglio di carta. In pari tempo una parte della pupilla riceve i raggi diretti, che partono dalla punta di una matita G, e per ciò può con questa

tracciare i contorni dell'immagine. S'incontra però una grave difficoltà: la matita è posta alla distanza della visione distinta, e l'oggetto, e quindi la sua immagine, ad una distanza maggiore: sappiamo poi, che l'occhio non può simultaneamente vedere distinti un oggetto vicino ed uno lontano (813). Bisogna adunque fare in modo, che l'immagine si formi alla medesima distanza dall'occhio, a cui trovasi la matita; il che ha ottenuto Wollaston col porre una lente divergente tra l'occhio e la faccia AB, la qual lente col divergere i raggi fa avvicinare l'immagine.

830. Camera chiara d'Amici. — È molto più comoda in pratica la camera chiara d'Amici, la quale consiste in un prisma triangolare rettangolare ABC (fig. 406), una faccia BC del quale è volta verso l'oggetto da copiarsi, ed un'altra faccia AB è perpendicolare ad una lastra di vetro *mn* inclinata. I raggi, come LI, emanati dall'oggetto subiscono la riflessione totale sull'ipotenusa AC, ed emergono dalla faccia AB secondo KH, sulla lamina *mn* poi sono parzialmente riflessi, di modo che l'occhio collocato in O vede in L' l'immagine virtuale di L. Essendo la lamina *mn* trasparente, può l'occhio scorgere, oltre l'immagine L', ancora la matita.

831. Camera chiara di Nachet. — La camera chiara di Nachet è quella, che suole annettersi al microscopio composto e per ciò è molto utile al naturalista ed all'anatomico. Consiste in un prisma di vetro, la cui sezione è un parallelogramma ABCD (fig. 407), gli angoli acuti del quale A, C sono di 45°. Verso il mezzo della faccia CD si attacca un piccolo prisma triangolare ad angolo retto P, colle facce formanti quest'angolo, una orizzontale e l'altra verticale. Il tutto è posto in una scatola metallica e collocato sopra l'oculare d'un microscopio, in modo che la parte M stia sopra alla lente, e la parte S sporga fuori. I raggi, che come RM, avendo attraversato il microscopio, cadono nella faccia orizzontale del piccolo prisma, escono senza deviazione secondo la retta MK, perchè passano per un sistema rifrangente a facce piane parallele (766); onde l'occhio posto in O vede inalterata l'immagine microscopica. I raggi partiti dalla punta d'una matita G posta sopra ad un foglio di carta, andando nella direzione GS, entrano irrefratti nel prisma maggiore, perchè cadono perpendicolari a DA, battono in AB sotto un angolo di 45°, maggiore dell'angolo limite, e per conseguenza, riflettendosi totalmente nella direzione LI, battono nella faccia DC pure sotto un angolo di 45°; per il che debbono subire un'altra riflessione totale, che fa ad essi prendere la direzione IN normale a CB. Escono pertanto irrefratti dal prisma e giungono all'occhio. Coincidono adunque le immagini dell'oggetto microscopico e della matita. Siccome poi l'intensità della luce emanata dal foglio di carta è per lo più assai maggiore di quella dell'immagine microscopica, la quale rimarrebbe per ciò poco visibile, ad indebolire la luce della carta, si interpone a questa ed al prisma una lastra V di vetro colorato.

832. Principio del microscopio composto. — Il microscopio composto consiste essenzialmente in due lenti convergenti, una piccola chiamata *obbiettiva*, l'altra un poco più grande detta *oculare*. La prima dà un'immagine reale, rovesciata ed ingrandita

dell'oggetto collocato ad una distanza maggiore della focale, la quale immagine si vede dall'occhio anche più ingrandita, perchè la lente oculare relativamente ad essa agisce come un microscopio semplice.

Rappresenti AB (fig. 408) un oggetto di piccole dimensioni collocato avanti alla lente obbiettiva I D ad una distanza maggiore della focale *of*. Fra i raggi che partono da A consideriamone due, cioè quello, che essendo parallelo all'asse principale, si rifrange e passa per il foco principale *f'*, e quello, che, seguendo la via dell'asse secondario, esce irrefratto. Questi due raggi, intersecandosi in A', fanno conoscere essere A' il foco conjugato di A, e per conseguenza l'immagine di questo. Ripetendo lo stesso per i raggi emanati da B, comprenderemo formarsi un'immagine reale A'B' dell'oggetto AB. Tale immagine è come un oggetto relativamente alla lente oculare MN collocata ad una distanza dalla detta immagine minore della sua distanza focale: possiamo quindi con tutta facilità determinare la nuova immagine, che anderà a formarsi. Se A' fosse un punto luminoso, manderebbe dei raggi, che andrebbero in tutte le direzioni a battere sulla lente MN. Tra questi uno ve ne sarebbe A'O', che passerebbe per il centro ottico, ed un altro, che camminerebbe in direzione parallela A'G all'asse principale; il primo escirebbe irrefratto, il secondo, subita la rifrazione, dovrebbe andare al foco principale F. Nel punto d'incontro A'' dei prolungamenti di detti raggi si avrà adunque l'immagine virtuale di A', perchè quantunque sia vero che nel nostro caso manchino i raggi A'O, A'G, pure una tale mancanza non può cambiare la deviazione che, rifrangendosi, subiscono i raggi formanti il cono A'L M. In egual modo troveremo che in B'' si forma l'immagine virtuale di B'. Adunque un occhio collocato sopra alla lente oculare vedrà l'immagine A''B'' rovesciata ed assai ingrandita.

Ora che abbiamo esaminato in generale il fenomeno, che si ha col microscopio composto passiamo a parlare delle singole parti, che costituiscono questo utilissimo apparato.

833. Obbiettivi acromatici. — Se per obbiettivo si usa una lente semplice, l'immagine reale A'B' viene ad essere circondata da una fascia iridescente (800), la quale, ingrandita dall'oculare, deforma maggiormente il contorno dell'immagine virtuale A''BB''. È adunque necessario, che la lente obbiettiva sia acromatica. Presentemente invece di una sola lente obbiettiva, se ne usano due o tre acromatiche poste l'una vicino all'altra, e con tal modo si ottiene meglio l'acromatismo delle immagini, e si corregge ancora l'aberrazione di sfericità (803). Ciascun microscopio è munito di più sistemi obbiettivi, che colla medesima oculare producono diversi ingrandimenti.

834. Obbiettivi a correzione. — Per osservare con un microscopio un oggetto, si dispone generalmente questo tra due lastre di vetro. Quando l'ingrandimento è forte non può trascurarsi l'influenza, che la lastra superiore di vetro esercita sull'andamento della luce. Vediamo qual sia questa influenza. Rappresenti AB (fig. 409) la detta lastra, ed il punto P tramandi sulla faccia inferiore della medesima raggi di luce PI, PK...., che hanno diversa obbliquità.

Quelli più obbliqui come PK, dopo di avere attraversata la lastra, prenderanno la direzione TR, come se procedessero da P″, i meno obbliqui, come PI, prenderanno la direzione EL, quasi che fossero partiti da P′; ond'è che i raggi emanati da P giungeranno alla lente obbiettiva non già come procedenti da P, ma come fossero provenienti da molti punti P, P′, P″... posti l'uno sopra all'altro nella normale PO.

Se adunque l'obbiettivo deve di nuovo far concorrere tutti questi raggi in un punto solo, è necessario di costruirlo in modo tale, che i raggi, i quali partono da un unico punto battendo sulla faccia esterna inferiore, siano rifratti in guisa da andare in una serie di punti situati l'uno sopra all'altro ma in un ordine inverso di quello dei punti P, P′, P″.... È evidente però, che un dato obbiettivo non può correggere se non il difetto apportato da una lastra di vetro d'una determinata ertezza, e che per ciò dovrebbero usarsi sempre vetri d'eguale spessore per coprire gli oggetti. Nondimeno si può impiegare un solo obbiettivo per lastre di differente ertezza, facendo avvicinare tanto più fra di loro le lenti, che costituiscono esso sistema obbiettivo, quanto più grande è l'ertezza della lastra di vetro. Negli obbiettivi, che si dicono *a correzione*, o *a compensazione*, la prima lente, ossia l' inferiore, è quella, che si può avvicinare più o meno alle altre due, onde correggere l'effetto dell'ertezza del vetro.

835. Obbiettivi ad immersione. — L'avvicinamento delle diverse lenti dell'obbiettivo ne aumenta il potere rifrangente e per conseguenza accresce l'ingrandimento della immagine. Per il che con un solo obbiettivo a correzione si potrebbe avere diverso ingrandimento, bastando per aumentar questo di coprire l' oggetto con lamine di vetro più erte, avvicinando proporzionatamente la lente inferiore del sistema obbiettivo alle altre. Ma tal modo di aumentare l'ingrandimento è in pratica ben limitato, perchè mentre da una parte coll' avvicinare fra di loro le lenti si diminuisce la distanza focale del sistema, dall'altra coll'aumentare l'ertezza della lastra di vetro, si viene a tal punto da portare l'oggetto oltre al dovere lontano dal foco principale, superando l' ertezza del vetro la debita distanza. L'effetto però, che si vorrebbe ottenere coll'aumento dello spessore della lastra, si può conseguire col porre fra la lamina suddetta e l'obbiettivo uno strato di acqua o d'un altro liquido più rifrangente dell' aria. Su questo principio sono basati gli obbiettivi *ad immersione* d'Amici. Si fa cadere sulla lamina di vetro, che copre l'oggetto, una goccia d'acqua distillata, e se ne fa attaccare un' altra sulla lente inferiore dell' obbiettivo. Avvicinando questo al porta-oggetti, le due gocciole si attaccano insieme, e quindi col rialzarlo si forma tra la lente e la lastra un cilindretto di acqua. Con ciò si ottengono due vantaggi, il primo dei quali è, che l'acqua agisce come se si fosse aumentata l'ertezza del vetro, e conseguentemente si esige, che la lente esterna dell' obbiettivo si avvicini alle altre, onde si ottiene maggiore ingrandimento; in secondo luogo si rende più illuminata l' immagine, diminuendosi la perdita di luce, che ha luogo nella riflessione, la quale i raggi luminosi subiscono nel passare dal vetro all' aria interposta e da questa alla lente.

836. Angolo d'apertura, e campo del microscopio. — I raggi condotti dal foco principale di tutto il sistema obbiettivo all' orlo della lente inferiore formano un cono, che comprende tutta la luce, che ciascun punto dell'oggetto può inviare alla detta lente, la quale quantità di luce è proporzionale all'*angolo dell'apertura* dell'obbiettivo, cioè all'angolo formato da due rette condotte dal foco principale alle estremità d'un diametro della lente esterna.

Si dice poi *campo del microscopio* quello spazio, entro al quale deve trovarsi un punto posto innanzi all'obbiettivo, perchè la sua immagine possa essere veduta dall'occhio collocato avanti all'oculare. Sia *ll'* (fig. 410) l'obbiettivo, L L' l'oculare, *m* un punto dell'oggetto ed *m'* il suo foco conjugato rispetto all'obbiettivo. I raggi emanati da *m*, prima di giungere alla lente *ll'*, formano un cono divergente, che ha per vertice *m* e per base la superficie della lente stessa. Al di là dell' obbiettivo i raggi rifratti formano un fascio conico convergente, che ha per base l'obbiettivo stesso e per vertice il punto *m'*. È chiaro, che, onde il punto *m* sia compreso nel campo, basta che i raggi del fascio convergente *lm'l'* prolungati giungano all'oculare LL'. Ora per la piccolezza della lente *ll'* è sempre sottilissimo il detto fascio, cioè i raggi in questo contenuti poco divergono dal suo asse C'*m'*; per il che si potrà dire, bastare, che l'asse C'*m'*, ossia la linea *m*C' prolungata vada ad incontrare la lente oculare, perchè il punto *m* si trovi nel campo del microscopio. I raggi, che formano gli assi di tutti i coni luminosi, i quali i varii punti del campo mandano all' obbiettivo, passano per il centro ottico C' di questo, onde li possiamo considerare emanati da questo medesimo punto C'. Quindi è che i detti raggi, dopo di avere subita la rifrazione nell'oculare, andranno a concentrarsi nel punto O foco conjugato di C' rispetto all' oculare medesima. L'occhio collocato in O vedrà tutto il campo del microscopio, giacchè riceverà tutti i raggi emanati dal campo stesso, il quale è contenuto nel cono IC'I'. Al punto O dassi il nome di *punto oculare*.

837. Oculari. — Il sistema oculare è ordinariamente formato non già da una sola lente, come abbiamo fin qui supposto, ma di due lenti convergenti, delle quali una è l'oculare propriamente detta, ossia LL' e la seconda L_1, L'_1, dicesi lente *colletrice*. Tale sistema ha un duplice vantaggio, cioè accresce il campo del microscopio, e rende l'immagine sempre più acromatica. Esaminiamo queste due prerogative. La lente collettrice rifrange i raggi, che l'attraversano, avvicinandoli al suo asse principale, perchè è convergente (fig. 410), per la qual cosa il fascio *lml'*, il quale andava a formare il foco conjugato in *m'*, ora che ha attraversato la collettrice lo formerà in m'_1. In tal modo tutti i fasci di luce vengono avvicinati all' asse del microscopio, e perciò molti di quei raggi, che, attraversato l'obbiettivo, non sarebbero giunti all'oculare, ma avrebbero battuto sul tubo del microscopio, per la lente collettrice sono condotti all'oculare; onde il campo ne rimane aumentato. Si avverta però, che mentre la lente collettrice aumenta il campo, diminuisce l'ingrandimento, poichè ogni punto dell'immagine reale viene per essa lente portato più vicino all'asse del microscopio.

Per dimostrare la seconda prerogativa della lente collettrice, sia AB (fig. 411) un piccolo corpo posto avanti all'obbiettivo *ll'*, e siano *ab*, *a'b'* le immagini reali formate rispettivamente dai raggi rossi e dai violetti (800), quando non vi fosse la collettrice $L_1L'_1$. Collocata questa, saranno trasportati i punti *a*, *a'* in a_1, a'_1. Basterà calcolare a dovere le curvature da darsi alle lenti per ottenere, che i punti a'_1, a_1 siano veduti dall'occhio sovrapposti, nel qual caso l'immagine virtuale A'B' apparirà senza la fascia iridescente.

838. Forma del microscopio composto. — La forma, che più comunemente si suol dare al microscopio, è quella ideata da Nachet. Ad un'estremità di un tubo annerito nell'interno è annesso a vite l'obbiettivo acromatico, ed esso tubo per mezzo d'un anello, che l'abbraccia, è portato da una piccola colonna articolata, sicchè può inclinarsi a piacere. Nell'estremo superiore del tubo ne è introdotto un altro contenente il sistema oculare, il quale per mezzo d'una vite si può a piacimento avvicinare più o meno all'obbiettivo. Essendo necessario per vedere distinto l'oggetto, che la sua immagine virtuale cada alla distanza della visione distinta (826), ciò si può ottenere in due modi, cioè o coll'avvicinare od allontanare tutto il microscopio dall'oggetto, facendolo scorrere entro all'anello, o col cambiare per mezzo della vite la distanza dell'oculare dall'obbiettivo.

Riescendo talvolta incomodo usare il microscopio retto, Amici ideò un'altra forma, in cui il tubo è piegato ad angolo retto. All'estremo inferiore della parte verticale è posto l'obbiettivo, ed all'estremo del ramo orizzontale l'oculare. Nel punto, ove il tubo si piega, vi è un prisma triangolare ad angolo retto di purissimo flint. Sulla faccia interna opposta all'angolo retto battono i raggi, che, dopo di avere attraversato l'obbiettivo, penetrano nel prisma, ed ivi subendo la riflessione totale (764), vanno a formare l'immagine reale dell'oggetto verso l'estremo del tubo orizzontale.

Nei tubi si pongono dei diaframmi per correggere il difetto di sfericità (804), e si tingono in nero tanto questi, quanto le pareti dei tubi per impedire qualunque riflessione interna, che potrebbe nuocere alla perfetta visione dell'immagine.

839. Microscopio binoculare. — Per percepire in rilievo un oggetto abbiamo veduto (824) essere necessaria la visione binoculare. A tal fine si è ideato il *microscopio binoculare*. Ecco il principio, su cui è basato. Sia *c* (fig. 412) un punto luminoso collocato nel foco principale dell'obbiettivo *a*, i raggi emergeranno da questo paralleli all'asse. Un prisma triangolare D sia posto in modo da intercettare la metà del fascio luminoso, la qual parte intercettata, subendo nell'interno del prisma la riflessione totale, penetrerà in un secondo prisma E, ed ivi subendo una seconda totale riflessione, s'introdurrà in un tubo contenente il sistema oculare A'B'. L'altra parte di raggi non intercettata proseguirà la sua via nell'interno d'un secondo tubo, che porta l'oculare AB. I due tubi sono disposti in modo, che un osservatore possa contemporaneamente applicare ai medesimi i due occhi. Questa disposizione di cose però produce il difetto di *pseudoscopia*, cioè si vede in rilievo ciò, che nell'oggetto

è in incavo e viceversa; la qual cosa proviene da che il microscopio rovescia l'immagine. Ad intender ciò, siano G, D (fig. 413) due disegni, che riguardati rispettivamente dai due occhi corrispondenti d'un individuo, producono l'apparenza di un tronco di piramide, la cui base minore è in avanti, e la maggiore indietro (824). Se si disponessero i disegni, come si veggono in D', G', il tronco di piramide apparirebbe in posizione tutta contraria, cioè colla base maggiore in avanti, e la minore indietro. A rimediare ad un tale difetto è necessario (fig. 412) che i due fasci di luce si facciano incrociare fra loro prima d'introdursi nei due tubi del microscopio in modo che il fascio destro vada all'occhio sinistro, e viceversa, il che sarebbe come riportare il disegno G' della precedente figura in G e D' in D, ossia si cambiano con ciò fra loro le due immagini retiniche. Si raggiunge lo scopo coll'allontanare il prisma D' (fig. 412) da E, in modo che questi prendano la posizione E', D'. Allora la parte del fascio di luce, che prima attraversava i prismi, procede libera in linea retta, e l'altra passa per i prismi, incrociandosi colla prima.

840. Modo d'illuminare gli oggetti. — Allorchè si vuole ottenere un notevole ingrandimento, bisogna illuminare assai l'oggetto, perchè la luce emanata da questo deve diffondersi in uno spazio tanto maggiore, quanto più grande è l'immagine, la quale per conseguenza riesce oscura se l'oggetto non è vivamente illuminato. Per ottenere l'intento, quando l'oggetto è trasparente, si usa uno specchio concavo posto al disotto del porta-oggetti e sostenuto da una verghetta a snodature. Si deve disporre tale specchio in modo da dirigere verso l'oggetto la luce diffusa del cielo, e non già i raggi diretti del sole. Qualche volta avviene di dovere limitare il fascio di luce riflesso dallo specchio, ed allora si fa uso di un diaframma circolare posto al disotto del porta-oggetti, ed avente dei fori di diverso diametro. Che se si voglia illuminare una data parte dell'oggetto, si pone sotto di questo il foro più stretto, e qualche volta si aggiunge al diaframma un cilindro annerito sporgente in alto, che contiene una lente convergente, al qual tubo dassi il nome di *condensatore*. Quando poi l'oggetto da esaminarsi è opaco, bisogna illuminare la sua superficie superiore per mezzo di una lente biconvessa retta dal sopporto del microscopio.

841. Misura dell'ingrandimento del microscopio. — Risulta dal detto nel paragrafo 832, che l'ingrandimento del microscopio composto è il rapporto tra la grandezza dell'immagine virtuale e quella dell'oggetto. Se una delle dimensioni dell'immagine è, ad esempio, 300 volte più grande della corrispondente dell'oggetto, dicesi che l'ingrandimendo in *diametri* è 300; il quadrato di questo numero dà l'ingrandimento in superficie, ed il cubo l'ingrandimento in volume. Per conoscere l'ingrandimento di un microscopio, bisognerebbe calcolare quello dell'obbiettivo, ossia il rapporto tra la grandezza dell'oggetto e quella dell'immagine reale, e poi presa questa come oggetto rispetto all'oculare, calcolar si dovrebbe l'ingrandimento dall'oculare stessa prodotto. Non riescendo ciò facile in pratica, si suole preferire il seguente metodo. Con una macchina di divisione (41) i costruttori sono abili a dividere in una

lamina di vetro una lunghezza di un millimetro in 100 ed anche 200 parti eguali. La lamina di vetro in cui sono segnate le dette divisioni, e che si appella *micrometro*, si pone nel porta-oggetti del microscopio. Sopra l'oculare di questo si colloca la camera chiara di Nachet (831), in modo che l'immagine ingrandita delle divisioni sia trasportata su di un foglio di carta collocato vicino al microscopio. Basta che l'osservatore tracci sulla carta colla matita lo spazio occupato da un certo numero di divisioni. Per concretare le idee supponiamo che essendo nel micrometro un millimetro diviso in 100 parti, 10 di queste divisioni occupino nella carta una lunghezza di 20 millimetri: qual sarà l'ingrandimento del microscopio? Una divisione del micrometro vale un centesimo di millimetro, e per ciò nel nostro caso 10 centesimi di millimetro valgono nell'immagine 20 millimetri, e quindi un centesimo di millimetro corrisponde a due millimetri. Adunque il rapporto fra la grandezza dell'oggetto e quella dell'immagine veduta col microscopio è come $\frac{1}{100}:2$ ossia come $1:200$; cioè il microscopio avrebbe un ingrandimento in diametri eguale a 200.

842. Misura dell'estensione superficiale del campo. — Col micrometro si può misurare l'estensione superficiale del campo del microscopio. Essendo questo circolare, basta che se ne misuri il diametro; ed a tal fine, collocato il micrometro nel posto del porta-oggetti, si dispone il microscopio in modo da potersi vedere il maggior numero di divisioni. Se le divisioni vedute siano 54 equivalenti ciascuna ad un centesimo di millimetro, si dirà che il diametro del campo è mm. 0,54, e però la sua superficie sarà di mm. q. 0,23. Variando gli obbiettivi in un microscopio, e misurando in ogni combinazione il campo, si verrà a conoscere che questo è tanto più piccolo quanto maggiore e l'ingrandimento.

843. Misura delle dimensioni d'un oggetto. — Conoscendosi l'ingrandimento di un microscopio, è cosa facile misurare la vera grandezza di un oggetto osservato. Vogliansi, a modo d'esempio, misurare le dimensioni dei globuli del sangue umano. Se ne ponga una piccola goccia fra due lastre di vetro, si collochi nel microscopio, e per mezzo della camera chiara si disegnino sulla carta più globetti. Supponiamo che con una scala divisa in millimetri si trovi, che il diametro di ciascun globulo disegnato sia di mm. 4, e che l'ingrandimento del microscopio sia 500: il diametro reale di ciascun globulo del sangue umano sarebbe eguale a mm. $\frac{4}{500}$ = mm. $\frac{1}{125}$.

CAPO IX.

CANNOCCHIALI

844. Cannocchiale astronomico. — Non si sa in modo positivo chi sia stato il primo inventore del cannocchiale, ma è cosa certa, che Galileo senza conoscere il modo, con cui questo apparato era stato costrutto in Olanda o altrove, ne formò uno colle sole risorse del suo genio, e con esso fece ammirabili scoperte astronomiche. Tre sono le specie dei cannocchiali, cioè l'*astronomico* attribuito a Keplero, il *terrestre* ed il *Galileiano*. Incominciamo dall'esporre il primo, il quale è composto di due lenti convergenti contenute in un tubo; l'obbiettiva fornisce un'immagine reale, rovesciata, e l'oculare dà della prima una seconda immagine virtuale posta alla distanza della visione distinta. Sia L (fig. 414) la lente obbiettiva ed A A', BB' siano gli assi secondarii, che partono dagli estremi dell'oggetto collocato ad una grande distanza. Noi sappiamo (774) che in questo caso deve formarsi l'immagine reale A'B' rovesciata e piccola posta vicino al foco F dell'obbiettiva, ma ad una distanza maggiore della focale C F. Nel medesimo foco F della lente L cade il foco principale dell'oculare: quindi è che l'immagine B' A' deve considerarsi relativamente a quest'ultima quale un oggetto posto fra il foco principale e la lente, per la qual cosa questa seconda lente formerà un'immagine virtuale ed ingrandita, come viene espresso dalla figura, la quale immagine sarà veduta da un occhio posto in F'. L'ingrandimento ottenuto da questo cannocchiale si calcola dividendo la distanza focale dell'obbiettivo per quella dell'oculare. Difatti, si supponga, che, essendo l'oggetto osservato lontanissimo, l'immagine reale cada precisamente nel foco F; nel qual caso l'occhio collocato in F' vedrebbe l' immagine sotto l'angolo ottico $hF'h' = hC'h' = B'C'A'$, mentre ad occhio nudo vedrebbe l'oggetto sotto l'angolo visuale $ACB = B'CA'$. Essendo pertanto le grandezze degli oggetti proporzionali agli angoli ottici (823), se chiaminsi con O la grandezza apparente dell' oggetto veduto ad occhio nudo, e con I quella dell'immagine veduta col cannocchiale, si avrà

$$O : I = B'CA' : B'C'A',$$

o dividendo per 2 i termini del secondo rapporto,

$$O : I = x : y \qquad \dots (a).$$

Per il triangolo rettangolo B′CP si ottiene

$$CP : PB' = 1 : \text{tang.}\, x,$$

e per essere l'angolo x piccolissimo, si potrà prendere l'angolo invece della sua tangente, cioè si potrà fare

$$CP : PB' = 1 : x,$$

da cui si ricava $$PB' = CP \times x \quad \ldots . (m).$$

In simil modo dal triangolo rettangolo B′C′P si deduce

$$PC' : PB' = 1 : \text{tang.}\, y, \quad PC' : PB' = 1 : y, \quad PB' = C'P \times y \quad \ldots . (n).$$

Confrontando i secondi membri delle equazioni (m), (n), si ha

$$CP \times x = C'P \times y,$$

che posta in proporzione ci dà

$$x : y = C'P : CP,$$

la quale confrontata colla (a) ci somministra

$$O : I = PC' : PC,$$

ma nell'ipotesi fatta il punto P dell'immagine cade nel foco F; dunque si potrà scrivere

$$O : I = FC' : FC.$$

Facendosi $O = 1$, si avrà $I = \frac{FC}{FC'}$, come volevasi dimostrare.

Discende da ciò, che per aversi un notevole ingrandimento, l'oculare deve farsi di corta distanza focale, e di lunga l'obbiettiva. L'oculare può esser composta di più lenti, e l'obbiettiva deve avere un angolo d'apertura ben grande, perchè possa raccogliere molti raggi di luce, che rendono assai illuminata l'immagine (836). Questo cannocchiale dicesi astronomico, perchè facendo vedere gli oggetti rovesciati, solamente serve per le astronomiche osservazioni. Nel cannocchiale il campo si ha, conducendo dal centro ottico dell'obbiettivo linee rette che vadano ai lembi dell'oculare, e ciò per le medesime ragioni esposte relativamente al campo del microscopio composto (836). Dovendo l'immagine virtuale portarsi alla distanza della visione distinta dell'osservatore, si ottiene l'intento coll'avvicinare od allontanare fra loro l'oculare e l'obbiettiva, e per ciò il cannocchiale consta almeno di due tubi, uno dei quali entra nell'altro, e per mezzo di un rocchetto e di una verga dentata si può il primo far penetrare più o meno nel secondo. Siccome il campo diviene tanto più ristretto quanto maggiore è l'ingrandimento del cannocchiale, ne viene che riesce assai difficile per un cannocchiale di notevole ingrandimento ritrovare nel cielo un determinato astro. È per questa ragione che si unisce ad esso e parallelamente al suo asse un altro piccolo telescopio, detto il *cercatore*. Trovato con questo l'astro, e postolo al centro del suo campo, l'astro si troverà anche nel campo del cannocchiale grande.

845. Telescopii cato-diottrici. — I telescopii propriamente detti, o *cannocchiali cato-diottrici*, sono cannocchiali astronomici, nei quali l'immagine reale invece di esser prodotta da una lente convergente, lo è da un grande specchio concavo (750). Hanno questi la proprietà di essere acromatici, perchè l'immagine reale non nasce per rifrazione ma per riflessione.

846. Cannocchiale terrestre. — Per osservare gli oggetti terrestri è necessario un cannocchiale che faccia vedere l'immagine diritta. Il telescopio, che serve a ciò, è composto di due cannocchiali astronomici, il secondo dei quali ha per officio di raddrizzare l'immagine prodotta dal primo. Avanti alla lente obbiettiva 1 (fig. 415) sia posto un oggetto lontano, ed Aa, Bb siano gli assi secondarii, che partono dagli estremi di esso: vicino al foco F dell'obbiettiva si formerà una piccola immagine reale e rovesciata ba. Nel punto, dove tale immagine si forma, cade il foco principale t della lente 2. I raggi che si sono intersecati per formare un punto b, di essa immagine, procedendo avanti divergenti, come provenissero da una distanza eguale alla focale della lente 2, dovranno escire da questa paralleli al rispettivo asse secondario e battendo nella lente 3 si incroceranno ad una distanza eguale alla focale di questa lente, onde, come dimostra la figura, ha luogo una seconda immagine $a'b'$, ma in posizione diritta relativamente all'oggetto. Trovandosi questa seconda immagine tra la lente 4 ed il suo foco principale F', si produrrà, come si scorge dalla figura, l'immagine dritta ed ingrandita $a''b''$.

Per calcolare l'ingrandimento d'un telescopio terrestre, s'immagini costituito di due cannocchiali astronomici, il primo formato dalle lenti 1, 2, ed il secondo dalle lenti 3, 4, e si rifletta, che l'immagine virtuale che sarebbe data dal primo, fa da oggetto riguardo al secondo. Per la qual cosa se per brevità con 1, 2, 3, 4 si indichino le distanze focali delle rispettive lenti, con O la grandezza apparente dell'oggetto veduta ad occhio nudo, con I' quella dell'immagine virtuale, che si avrebbe dal primo cannocchiale astronomico, e con I quella che si osserva coll'intero telescopio terrestre, si avranno queste due proporzioni (844)

$$O : I' = 2 : 1, \quad I' : I = 4 : 3,$$

che moltiplicate assieme dànno

$$O : I = 2 \times 4 : 1 \times 3.$$

Questa c' insegna, che la grandezza dell'oggetto veduto ad occhio nudo sta a quella dell'immagine osservata col telescopio, come il prodotto delle distanze focali delle lenti indicate coi numeri pari sta al prodotto delle distanze focali delle lenti notate coi numeri dispari. Sarà dunque molto l'ingrandimento, se le lenti 2, 4 si fanno di corta distanza focale, e di lunga le lenti 1, 3. Non si usa questo cannocchiale per le osservazioni astronomiche, perchè a motivo delle molte rifrazioni si disperde una grande quantità di luce.

847. Cannocchiale Galileiano. — Galileo costruì il suo cannocchiale con due sole lenti, in modo che gli oggetti apparissero

diritti. Delle due lenti l'obbiettiva è convergente, divergente l'oculare. Un oggetto lontano diriga i raggi di luce sull'obbiettivo L (fig. 416). Se AA', BB' sono gli assi secondarii procedenti dagli estremi dell'oggetto, si dovrebbe formare un'immagine B'A' rovesciata ad una distanza dalla lente un poco maggiore della sua distanza focale CF. Veramente questa immagine non si forma, perchè tra la lente L ed il punto P è collocata la lente oculare divergente L', nella quale passando i raggi di luce, si rifrangono ed escono divergenti fra loro. Essa oculare è posta in guisa, che trovasi ad una distanza dal punto P piccola cosa maggiore della sua distanza focale C'F'. Per conoscere la deviazione, che subiscono i raggi, i quali si riunirebbero in B', basta che se ne considerino due. Un raggio, che parallello all'asse ottico principale venisse a terminare in B'. attraversando la lente L' divergerebbe dall' asse primario nella direzione L"T, in modo che prolungato passerebbe per il foco principale F" dell' oculare (779). Un secondo raggio, che giungesse in B', passando per il centro ottico di L', non subirebbe una nuova rifrazione, perchè si confonderebbe con un asse ottico secondario. I due raggi presi di mira si intersecherebbero in B", e per ciò deve dirsi, che i raggi, i quali per la lente obbiettiva formerebbero un'immagine reale B' del punto obbiettivo B, per la presenza dell' oculare danno un'immagine virtuale B". Facendo consimili osservazioni sui raggi, che formerebbero le varie parti dell'immagine B'A', si viene a conoscere formarsi, invece di questa, l'immagine virtuale A"B" dritta ed ingrandita. L'ingrandimento prodotto da questo telescopio è dato dal quoto, che si ottiene dividendo la distanza focale dell' obbiettiva per quella dell'oculare, come pure si aveva nel cannocchiale astronomico, e simile ne è la dimostrazione.

Stante la piccolezza degli angoli x, y, si ha

$$CP : PB' = 1 : x, \qquad PB' = CP \times x$$

$$C'P : PB' = 1 : y, \qquad PB' = C'P \times y$$

onde $$CP \times x = C'P \times y; \qquad x : y = C'P : CP.$$

Avendosi poi $O : I = x : y$; sarà pure $O : I = C'P : CP$

e fisicamente $$O : I = C'F' : CF.$$

Il telescopio galileiano è più corto dell'astronomico, perchè, mentre in quest' ultimo la lunghezza del tubo è eguale alla somma delle distanze focali delle due lenti, nel primo è eguale alla loro differenza. Nondimeno nelle osservazioni è preferibile l' astronomico, per la ragione, che questo è dotato di campo maggiore di quello del galileiano, dalla cui oculare i raggi escono divergenti.

848. Metodo sperimentale per misurare l' ingrandimento d'un cannocchiale. — Non essendo cosa facile misurare con esattezza le distanze focali delle lenti d'un cannocchiale per dedurne poi l'ingrandimento che questo produce, è da preferirsi il metodo sperimentale dato da Galileo. Si guarda con un occhio per mezzo del telescopio un regolo diviso in decimetri e centimetri

collocato ad una conveniente distanza, e nel medesimo tempo questo si guarda direttamente coll' altr' occhio. Non è difficile contare quante divisioni del regolo vedute ad occhio nudo occupino lo spazio corrispondente ad una sola divisione ingrandita dall'apparato. Se ad esempio 20 divisioni del regolo corrispondono ad una dell'immagine, il cannocchiale produce un ingrandimento di 20 diametri (841).

Un telescopio, che ha un ingrandimento di 2, 3 . . . . diametri, fa vedere l'oggetto sotto un angolo ottico doppio, triplo . . . . . come se la sua distanza fosse ridotta alla metà, al terzo. . . . È per questo, che l'oggetto sembra avvicinato.

849. Uso del cannocchiale in medicina. — Per esaminare una parte organica l'occhio può servirsi d'un microscopio, ma qualche volta si preferisce un piccolo cannocchiale galileiano conosciuto sotto il nome di *microscopio di Bruke*, che mentre ha un ingrandimento da 3 a 10 diametri, possiede una distanza focale più lunga di quella di un microscopio ordinario e permette di vedere distintamente ed ingrandito un oggetto posto alla distanza di 5 o 6 centimetri. Questo apparato può adattarsi all'anello, che suole reggere il microscopio composto, e così essere utile agli studii anatomici, che non esigono molto ingrandimento, poichè essendo più corto del microscopio, e lasciando maggiore spazio tra sè e l'oggetto, rende facile l'uso degli istrumenti di dissezione al disotto dell'obbiettivo.

CAPO X.

ISTRUMENTI OTTICI PER USO MEDICO

850. Laringoscopio. — Sono molti gli apparati ottici, che oltre al microscopio, sono di grand'uso in medicina. Di questi intendiamo parlare, incominciando dal *Laringoscopio*, con cui si può esaminare la laringe d'un malato, e che, ideato da Liston, è stato reso di comune uso da Czermak. Consiste questo in uno specchio piano di piccole dimensioni, di varia forma, ma per lo più quadrata da uno a tre centimetri di lato, fisso all' estremità di un lungo manico, col quale la superficie dello specchio fa un angolo di circa 125°. Per esaminare la laringe, bisogna applicare convenientemente lo specchio alla retrobocca, poi far battere sulla sua superficie un fascio di raggi luminosi provenienti dal sole o da una fiaccola, concentrandoli se sia d'uopo, con una lente conver-

gente. Allora le parti della laringe, che ne rimangono rischiarate, rinviano raggi, che si riflettono nello specchio, e permettono all'occhio dell'osservatore di vederne l'immagine e così conoscere se esse parti sono sane o malate. Perchè l'immagine venga nitida, bisogna, prima d'introdurre lo specchio, riscaldarlo leggermente coll'esporlo al disopra d'una lampada ad alcool, perchè se fosse alquanto freddo, si appannerebbe per i vapori acquei, che accompagnano l'aria espirata. Si fa quindi aprire molto la bocca alla persona malata e si fa ad essa spingere in avanti la lingua. Allora si porta direttamente lo specchio nella laringe in modo che sollevi il velo palatino, e si fa riposare l'orlo inferiore di esso specchio contro la parete posteriore della faringe e si tiene la superficie riflettente inclinata per 45° all'orizzonte. In quanto all'immagine l'osservatore deve rammentarsi, che essa è simmetrica all'oggetto (744): ond'è che, essendo l'apertura della laringe diretta presso a poco orizzontalmente, l'immagine comparirà verticale: la parte anteriore della glottide apparirà in alto e la posteriore in basso, ma le parti che stanno alla destra si vedranno alla destra, ed alla sinistra quelle che sono alla sinistra.

851. Faringoscopio. — Mora ha ideato un altro apparecchio detto *Faringoscopio*, per il quale uno può esaminare la sua faringe. Consiste tale apparato in uno specchio piano, che ha un foro, in cui è incastrata una lente convergente. Si tiene la bocca aperta avanti alla detta lente, dietro alla quale vi è una lampada munita di riflessore. Questa tramanda raggi di luce, che concentrati dalla lente vanno ad illuminare vivamente la cavità della bocca. Le parti rischiarate rinviano raggi luminosi, che riflessi dallo specchio giungono all'occhio dell'osservatore, il quale per conseguenza vedrà dietro allo specchio l'immagine della sua faringe. Se l'osservatore introduce nella sua retrobocca un laringoscopio, giungerà pure a vedere l'immagine della sua laringe.

852. Oftalmoscopii. — Interessa spesso al medico oculista d'osservare l'interno dell'occhio e specialmente la retina. Ciò non si può fare senza un apparato. Difatti, se ci poniamo a guardare anche con attenzione la pupilla di un individuo, vediamo solamente un cerchio nero senza alcun barlume di luce, il che avviene per l'assorbimento effettuato dalla retina e dalla coroide dei raggi che penetrano nell'occhio. È adunque necessario per rendere visibile la retina d'illuminarla grandemente, affinchè ciascuna parte di essa addiventi come un punto luminoso. Inoltre, se i raggi emanati dalla retina giungessero direttamente all'occhio dell'osservatore, questo non vedrebbe distintamente essa retina, perche i suddetti raggi vengono modificati nell'attraversare l'occhio osservato, ed escono paralleli dall'occhio emmetrope (816) divergenti dall'ipermetrope (817) convergenti dal miope. Pertanto oltre ad illuminare la retina, bisogna fare in modo, da avere di essa un'immagine posta alla distanza della visione distinta dell'osservatore. Tutto ciò si ottiene per mezzo dell'*oftalmoscopio* ideato da Cramer e perfezionato da Helmholtz, e che può essere ad immagine o positiva ossia reale, o negativa cioè virtuale.

853. Oftalmoscopio ad immagine positiva. — L'oftalmoscopio ad immagine positiva è così formato. L (fig. 417) è una lampada, che coperta da un tubo opaco, per un foro praticato in questo, tramanda raggi di luce, i quali dopo di avere attraversata una lente convergente B battono in uno specchio concavo S S' avente in mezzo un foro F, e si riflettono in modo che, attraversando una seconda lente convergente A di piccola distanza focale, penetrano nella pupilla dell'occhio C e vanno a formare il foco o nella retina od in un punto a questa vicino. Nel primo caso si ha il massimo d'illuminazione, ma la parte illuminata è ristrettissima, e per ciò è meglio attenersi al secondo, in cui si ha uno spazio maggiore sufficientemente illuminato. Si consideri ora un punto *m* della retina: questo manderà raggi di luce alla lente A, i quali anderanno a formare in *m'* l'immagine del punto *m*. Anche gli altri punti illuminati della retina invieranno egualmente dei raggi luminosi, cosicchè in *m'* si formerà un'immagine reale rovesciata della retina stessa; immagine che può esser veduta da un occhio convenientemente collocato dietro al foro F.

854. Oftalmoscopio ad immagine negativa. — Nell'oftalmoscopio ad immagine negativa i raggi, che hanno attraversata la lente B (fig. 418), battono in una lamina di vetro *l l'* ed in parte ivi riflettendosi, vanno ad illuminare la retina dell'occhio C. La luce emanata da questa attraversa la lente convergente A, parte si riflette in *l l'* ma parte trapassa la detta lamina, ed attraversata la lente divergente N, entra nell'occhio dell'osservatore O. È chiaro che le due lenti formano un cannocchiale galileiano (847), e che per ciò deve vedersi l'immagine della retina C ingrandita e dritta: ristretto però riesce il campo.

855. Oftalmoscopio binoculare. — Giraud-Teulon ha avuta la felice idea di costruire un oftalmoscopio binoculare, procurando così all'osservatore la sensazione del rilievo stereoscopico della retina. Il principio su cui è basato questo apparecchio è consimile a quello usato da Nachet per il microscopio binoculare (839). Dietro allo specchio concavo *m n* (fig. 419) di vetro inargentato si trovano due romboedri R, R' di crown, i quali sono posti in modo che due angoli acuti *o* siano a contatto fra loro, sicchè occupino ciascuno la metà della piccola superficie non inargentata e per ciò trasparente, che forma il centro ottico dello specchio. Ciascuno di questi romboedri rappresenta un doppio prisma triangolare a riflessione totale. Con tale disposizione di cose ciascun fascio luminoso che parte da qualunque punto *a* dell'immagine o reale o virtuale della retina A, e che attraversa la parte *o* dello specchio, è diviso in due dal sistema dei romboedri, e ciascuna delle due parti subisce nell'interno del relativo romboedro una duplice riflessione totale, che la fa emergere parallelamente alla sua direzione primiera, ma con uno spostamento laterale eguale alla dimensione trasversale del romboedro. In tal modo l'unica immagine *a* è sostituita da due *g*, *d* una a destra e l'altra a sinistra, e se la loro vicendevole distanza sia precisamente eguale a quella che passa fra i due occhi dell'osservatore, questi avrà avanti agli occhi due immagini, come le due figure che si pongono nello stereoscopio (825). Due lenti prisma-

tiche p, p' colle basi rivolte all'infuori, fondono le due immagini in una sola a'. Perchè poi esse due immagini si abbiano sempre a formare ad una distanza fra loro eguale a quella che passa fra i due occhi dell'osservatore, uno dei due romboedri è formato di due pezzi, uno dei quali può a piacere allontanarsi più o meno dall'altro per mezzo d'una vite (*).

856. Uretroscopio. — Importantissimo pure è l'uso dell'*uretroscopio*, apparecchio ideato da Desormeaux e destinato ad esaminare specialmente il canale dell'uretra, ma che potendo pure servire ad esplorare tutte le cavità interne, le quali sono in comunicazione coll'esterno per uno stretto canale rettilineo ha preso ancora il nome generico di *endoscopio*. Il principio su cui è basato è il seguente. L (fig. 420) è una sonda rettilinea e vuota, destinata a tenere aperto il canale dell'uretra ed a somministrare così un facile passaggio ai raggi luminosi. M N è uno specchio piano forato al centro e disposto obbliquamente dirimpetto alla sonda per proiettare parallelamente all'asse di questo un fascio luminoso emanato da una sorgente F posta lateralmente, e concentrato per mezzo di una lente piano-convessa A e di uno specchio concavo B. Le parti dell'uretra, in tal modo assai illuminate, manderanno raggi di luce, che percorrendo la sonda, ed in parte attraversando il foro dello specchio, giungeranno all'occhio O dell'osservatore, il quale potrà far uso di un cannocchiale galileiano di piccola portata, quando voglia avere un'immagine ingrandita.

857. Endoscopio di Mallez. — Molte sono le forme che si sono date all'uretroscopio, ma noi ci limiteremo ad indicare quella usata da Mallez, e di cui la figura 421 rappresenta una sezione orizzontale. A è un tubo che contiene in mezzo una fiaccola b tenuta ad un'altezza costante per una molla che trovasi nel suo sostegno: c è lo specchio concavo, e C è un tronco di cono a superficie interna inargentata, che raccoglie i raggi di luce. Il tubo A può staccarsi da C, quando si voglia con questo raccogliere i raggi solari. In m avvi lo specchio forato: x è una lente oculare, o il foro di un diaframma a cui applicasi l'occhio, ed r rappresenta la sonda.

(*) Non è cosa tanto facile l'usar bene dell'oftalmoscopio, e per ciò il giovane medico per acquistare la debita pratica deve molto esercitarsi prima con apparecchi, le cui parti siano congiunte fra loro, e poi con quelli, che hanno le parti staccate e che si tengono in mano dallo sperimentatore. Inoltre è spesso necessario far dilatare coll'atropina la pupilla dell'occhio, che si vuole esaminare.

CAPO XI.

INTERFERENZE DELLA LUCE

858. Fenomeno delle interferenze. — Siano A, B (fig. 422) due piccoli specchi piani, collocati uno di fronte all'altro. Dal punto S entrino due raggi di luce rossa SA, SB, i quali, battendo uno in uno specchio, e l'altro nell'altro, si riflettano e vadano a riunirsi in un diaframma bianco collocato in M. Se il punto S sia ad egual distanza da A e B in modo, che i raggi SAM, SBM siano d'egual lunghezza, avremo in M una macchia rossa assai brillante, la quale insegna, che luce aggiunta a luce genera splendor maggiore. Ciò posto, si tenga sempre fisso lo specchio A, ma lo specchio B si vada lentissimamente tirando indietro per mezzo d'una vite micrometrica, in maniera che, mentre il raggio SAM si mantiene sempre inalterato, il raggio SBM si vada sempre più allungando. Tosto che si comincia a spostare lo specchio B, l'immagine rossa M principia ad illanguidirsi, ed allorchè lo specchio si è posto ad una certa distanza B', essa macchia svanisce del tutto. Non si creda già, che i due raggi non giungano in M, poichè, intercettato o l'uno o l'altro di essi, subito ricomparisce l'impronta rossa in M. Abbiamo adunque il singolare fenomeno, che luce aggiunta a luce ha prodotto tenebre. Seguitando a spostare lo specchio B, riapparisce la macchia rossa, la quale va sempre più illuminandosi, e ritorna ad avere il massimo splendore, quando lo specchio è giunto in B'', in cui il raggio SB''M ha subìto un allungamento doppio di quello, che aveva ottenuto quando batteva in B'. Proseguendo ad allontanare lo specchio, l'immagine M torna ad illanguidirsi e si spegne totalmente, quando il secondo raggio, giunto lo specchio in B''', ha subìto un allungamento triplo del primitivo. Così proseguendo, si succedono alternativamente in M le apparizioni e gli ecclissi dell'impronta luminosa. Se invece di sperimentare colla luce rossa, si operasse con un altro raggio colorato, si avrebbe lo stesso fenomeno, ma le distanze BB', B'B'', B''B'''..., a cui si deve portare successivamente lo specchio per fare scomparire la macchia colorata, sarebbero tanto più brevi, quanto più rifrangibile è il colore, che si sperimenta.

Che se si faccia uso di luce bianca, non si hanno più le *interferenze luminose ed oscure*, ossia l'avvicendarsi di luce più viva e di tenebre, ma invece collo spostarsi dello specchio B, si ottiene che la macchia M, da prima bianca addivenga colorata, e quindi vada sempre cambiando di tinta.

859. Causa delle interferenze. — Il descritto fenomeno, che in verun conto si può spiegare coll'ipotesi dell'emissione (734), è una legittima conseguenza del sistema delle vibrazioni, mentre abbiamo veduto (76) come debbano interferire due onde, che s'incontrano a seconda che si trovano in eguale o diversa fase. Difatti, da una medesima sorgente provengano due raggi luminosi (fig. 423) espressi dalle linee sinuose AB, CD (74), e questi si vadano ad incontrare dopo aver fatto un viaggio d'egual lunghezza. Certamente i due raggi nel loro incontro si troveranno in fasi eguali (69), cioè si incontreranno o due monti o due valli, e quindi nell' etere del punto di riunione, si anderanno a sommare due moti d'egual direzione, e per conseguenza si avrà aumento di luce. Che se un raggio luminoso GH preceda l'altro EF di una semiondulazione, unendosi questi insieme, nel punto d'incontro avranno fasi diverse, ed ivi l'etere verrà a ricevere due moti eguali e contrarii, che perciò si elideranno, ond'è che l'etere passerà alla quiete, ed avrà luogo l'interferenza oscura.

Se in terzo luogo si congiungano insieme i due raggi NO, LM, il primo dei quali abbia fatto un viaggio più lungo di quello dell'altro per due semiondulazioni, nel punto d'incontro si avranno fasi eguali, e perciò aumento di luce; ma si avranno al contrario tenebre nel punto d'incontro dei raggi RS, PQ, il primo dei quali abbia fatto un viaggio più lungo di tre semiondulazioni. Così procedendo avanti potremo conchiudere, che si avrà un' interferenza luminosa, quando si incontrano due raggi, che abbiano fatto un viaggio eguale, o disuguale per un numero pari di semiondulazioni, e che si avrà poi interferenza oscura, quando i raggi, che s'incontrano, hanno fatto un viaggio di diversa lunghezza per un numero dispari di semiondulazioni.

Torniamo ora all'apparecchio precedente (fig. 422). Si aveva in principio in M un'immagine rossa assai viva, perchè i due raggi SAM, SBM s'incontravano dopo di avere percorsi spazii eguali. Ma spostato lo specchio in B', si aveva in M interferenza oscura, perchè il raggio SB'M era più lungo dell'altro SAM d'una semiondulazione. Portato lo specchio in B'' in modo che la diversità di cammino dei due raggi era di due semiondulazioni, si tornava ad avere in M interferenza luminosa, la quale era seguìta da un'altra oscura, allorchè, collocato lo specchio in B''', la differenza di cammino dei due raggi era di tre semiondulazioni.

860. Causa della diversità dei colori. — Abbiamo veduto, che sperimentandosi i varii colori dello spettro solare, quanto più il colore era rifrangibile, tanto minori dovevano essere gli spostamenti dello specchio B per fare succedere alternativamente le interferenze oscure e luminose. Ciò prova manifestamente, che la diversità dei colori dipende dalla varia lunghezza delle vibrazioni eteree, la quale lunghezza è tanto minore, quanto più il colore corrispondente è rifrangibile. Fresnel dal fenomeno delle interferenze ha potuto ricavare la lunghezza l di un'onda relativa a ciascun colore, e dalla formola $l = \frac{V}{n}$ (71) ha dedotto il numero n delle vi-

brazioni, che per ciascun colore ha luogo in un minuto secondo. Ecco i risultati:

Lunghezza dell'onda in milionesimi di millimetro.		Numero delle vibrazioni compiute in un secondo e computate a miliardi.
Violetto . . .	423	708000
Indaco	449	669000
Azzurro . . .	475	630000
Verde	521	576000
Giallo	551	543000
Arancio . . .	583	413000
Rosso	620	483000

861. Causa delle interferenze colorate. — Ben chiara dopo l'esposto apparisce la ragione, per la quale, se sopra i due specchi A, B (fig. 422) si fanno cadere due raggi di luce bianca e poi si sposti B, si scorge una macchia luminosa, che continuamente cambia di colore. Invero, quando i due specchi stanno nella primiera posizione, tutti i raggi colorati, che costituiscono quelli di luce bianca SAM, SBM, giunti in M si trovano in fasi eguali nell'uno e nell'altro fascio, perchè hanno fatto un eguale viaggio, e perciò si dovrà avere in M un'impronta bianca.

Appena poi si sposta lo specchio B, si accresce il viaggio del secondo fascio d'una semiondulazione del raggio violetto, ed allora il solo violetto si trova in interferenza oscura, e quindi in M dovrà aversi un'impronta del colore complementare del violetto (791). Seguitando a spostare lo specchio, il violetto ricomparisce; ma poichè la differenza di cammino dei due raggi è giunta ad essere eguale ad una semiondulazione dell'indaco, questo colore si estingue, ed M apparisce del colore complementare dell'indaco. Seguitando a spostare lo specchio si avranno in simil modo successivamente i colori complementari degli altri raggi.

862. Colori cangianti dei corpi. — Si è già parlato dei colori costanti dei corpi (787); ora si potrà dare spiegazione dei colori cangianti. Si formi una bolla con acqua, in cui sia stato sciolto del sapone, e fattala posare sopra una tavola, si osservi la sua superficie superiore *az* (fig. 424), e si vedrà che questa parte va cambiando di colore. Vediamone la causa. Sia *sa* un fascio di luce bianca, che batte in *a*: alcuni dei raggi bianchi, giunti alla superficie esterna della pellicola di acqua, di cui è formata la bolla, si riflettono nella direzione *am*, e gli altri penetrano nella pellicola e pervenuti in *p*, mentre alcuni emergono da essa pellicola e passano nell'interno della bolla, altri si riflettono nella direzione *pn*. Questi secondi raggi fanno un cammino più lungo dei primi, e la differenza di viaggio è eguale ad *apz*. Qui dobbiamo richiamare alla memoria, che allorquando un sistema di onde si riflette, se

ciò succede entro al mezzo più denso, nulla perde il detto sistema; ma perde una semionda, allorquando si riflette entro al mezzo meno denso (83). Pertanto il raggio *pn*, riflettendosi entro all'acqua, non fa alcuna perdita, ma *am* perchè si è riflesso nell'aria ha perduta una semiondulazione.

Per il che, se la differenza di raggio *apz* fosse eguale ad una semiondulazione del raggio rosso i due raggi rossi che trovansi in *am* e *pn* avrebbero fasi eguali; ma avranno fasi contrarie, se *apz* è eguale alla lunghezza d'un'intera onda rossa. Se adunque l'ertezza della pellicola è eguale alla metà d' un' onda rossa, ovvero è eguale ad un numero dispari di semionde di quel colore, i raggi *am*, *pn*, entrando nell' occhio, si troveranno con i raggi rossi in fase diversa, si estinguerà quindi il rosso, e noi vedremo la parte *az* del colore complementare di quello. Seguitando ad osservare la bolla, si vedrà formare nel suo interno una gocciola d'acqua *x*, la quale va sempre più ingrossando; la qual cosa proviene da che l'acqua, scorrendo per le pareti della bolla, si porta in basso, in modo che la pellicola nella parte superiore si va sempre più affinando. Quando adunque l'ertezza di essa si sarà ridotta ad una semionda o ad un numero dispari di semionde dell'arancio, sarà questo colore che sparisce ricomparendo il rosso, e si vedrà per conseguenza *az* del colore complementare dell' arancio. Proseguendo ad attenuarsi la pellicola, *az* apparirà successivamente dei colori complementari del giallo, verde, ecc., finchè la bolla si rende così sottile da infrangersi e svanire.

Il petto dei colombi, il collo di molti altri volatili, i vetri che sono stati qualche tempo sotto terra, la madreperla ed altri corpi, veduti da un punto, ci sembrano d'un colore, e veduti da un altro punto, ci appaiono d'un colore diverso. I detti corpi sono formati alla superficie di tante sottilissime laminette trasparenti e sovrapposte. Siano (fig. 425) *ab*, *cd*, due di queste laminette, ed un fascio di luce bianca cada sulla superiore: parte di questo si riflette secondo *om*, e parte, giungendo alla seconda laminetta, si riflette nella direzione *qn*. Questo secondo raggio fa un cammino più lungo di quello del primo e se la differenza è di un numero dispari di semionde di qualche colore, questo si estingue, allorchè i due raggi si uniscono, e l'occhio collocato in *mn* dovrà vedere quella parte del corpo del colore complementare dell'estinto. Che se l'occhio si collochi in *pt*, non riceverà più i raggi di prima, ma i raggi *op*, *rt* provenienti dalla riflessione del fascio luminoso *s' o*, i quali due raggi hanno una diversità di cammino differente da quella dei primi, onde s'estinguerà un altro colore invece del primo, e quindi sarà un altro il colore complementare, che si vede. Si comprende che, seguitandosi a variare la posizione dell'occhio, cambiare ancora si deve il colore, di cui apparisce quella parte del corpo.

Se su di una lamina di metallo bianco, quale è l'argento, si facciano moltissime solcature vicine e sottili, essa superficie presenterà il fenomeno dei colori cangianti.

Sia AB (fig 426) una tale superficie, la luce del sole, cadendo in essa, sarà riflessa in tutti i sensi dalle parti salienti, che si po-

tranno per ciò considerare come tanti punti luminosi. Un occhio collocato in O dai sottoposti punti salienti *a*, *b* riceverà i raggi *a*O, *b*O, i quali avendo fatto un eguale viaggio, faranno comparir bianchi i detti punti. I punti *c*, *d* manderanno all'occhio O i raggi *c*O, *d*O di disuguale lunghezza, e per ciò qualcuno dei raggi colorati si andrà ad estinguere, e *c*, *d* compariranno del colore complementare di questo. Contemporaneamente altri due punti, come *e*, *f* manderanno all'occhio O i raggi, *e*O, *f*O di lunghezza diversa differentemente dai precedenti, onde sarà un altro il colore estinto, e quindi un altro il colore di quei punti. Mentre poi *a*, *b* comparivano bianchi all'occhio collocato in O, d'un altro colore si mostreranno all'occhio posto in O' e di un altro ancora, se l'occhio si porti in O'', perchè l'occhio in O' riceve i raggi *a* O', *b*O', di diversa lunghezza, e collocato in O'', riceve i raggi *a* O'', *b*O'', la cui diversità di lunghezza non è eguale a quella dei precedenti.

863. Anelli colorati di Newton. — Dalla teoria delle interferenze dipende la spiegazione degli anelli colorati di Newton. Si ponga a contatto d'un vetro piano una lente piano-convessa in modo, che il contatto succeda dalla parte della convessità, la quale deve essere leggerissima. Fra i due vetri rimarrà uno strato d'aria la cui ertezza nel punto in cui i vetri si toccano è nulla, e va sempre più crescendo quanto più ci avviciniamo all'orlo della lente. Si faccia cadere un raggio di luce colorata sulla lente piano-convessa: si vedrà nel punto di contatto dei due vetri una macchia nera, circondata a distanze diverse da anelli del colore della luce, che cade sui vetri, ed alternati da anelli neri. Che se si osservino i due vetri per luce rifratta, si scorgeranno ancora gli anelli, ma in ordine inverso di quelli, che si vedevano per luce riflessa, cioè dove prima si vedevano gli anelli oscuri, ora si veggono i colorati, e viceversa. Le distanze intercettate agli anelli colorati sono tanto più brevi, quanto più rifrangibile è la luce colorata, con cui si fa l'esperimento. Quindi è che, se si fa uso di luce bianca, non si hanno più anelli oscuri, ma un sistema di anelli dei colori dell'iride. I diametri dei cerchi luminosi aumentano, se comprimendosi una lente contro l'altra, si diminuisca l'ertezza dello strato d'aria frapposta. Spieghiamo il fenomeno, incominciando dagli anelli veduti per riflessione.

Un fascio di luce colorata, che penetra nella lente piano-convessa, giunta alla superficie interna inferiore di essa lente, in parte si riflette, in parte emerge, e battendo nella superficie esterna dell'altro vetro, si suddivide di nuovo, ed una parte penetra in esso secondo vetro, mentre l'altra si riflette. Sono questi due raggi riflessi, che producono il fenomeno. Vaglia il vero, si consideri il fascio di luce *sa* (fig. 427), che, cadendo nel punto di contatto, si rifletta parte in *a* e parte in *b* nelle direzioni *ac*, *bd*. Siccome il punto *a*, che per comodo di figura abbiamo fatto staccato da *b*, è in realtà in contatto immediato con *b*, i raggi riflessi *ac*, *bd* si troveranno aver fatto un egual viaggio, e per conseguenza si dovrebbe vedere nel punto di contatto una macchia luminosa. Ma abbiamo notato nel paragrafo precedente, che il raggio, il quale si riflette nel mezzo meno denso, perde una semiondulazione: tal perdita adunque

sarà subìta dal raggio *bd*, e per ciò, penetrando i due raggi nell'occhio in fase contraria, produrranno interferenza oscura, onde deve aversi una macchia nera nel punto di contatto. Allontanandoci da questa macchia tanto, che l'ertezza *fh* dello strato d'aria frapposto alle due lenti sia di un quarto di onda relativa al colore, con cui fassi l'esperimento, sarà chiaro, che riflettendosi *ef*, parte in *f*, parte in *h*, il raggio riflesso *hk* farà un viaggio più lungo di *fg* per una semionda, onde, perdendo ancora *hk* un'altra semionda nel riflettersi nell'aria, avrà un ritardo sull'altro d'una intera onda. Nell'incontro adunque dei detti due raggi saranno essi in fasi eguali, e per ciò nel punto *f* dovrà passare un anello luminoso. Discostandoci dal punto *f* in modo, che la distanza *ln*, la quale passa tra i due vetri, sia di una semionda, si comprenderà, che il raggio *nv* debba fare un viaggio d'un'intera onda maggiore di quello che fa il raggio *lm*, e poichè il primo perde una semionda nel riflettersi in *n*, si troverà in ritardo sul secondo per tre semionde; per il che nel punto *n* deve passare un anello oscuro. Sarà egualmente manifesto, che pel punto *r* distante dalla lente superiore di $\frac{3}{4}$ di onda passar deve un anello luminoso, ed un altro oscuro per il punto distante dalla lente superiore per $\frac{5}{4}$ di onda, e così di seguito. Passiamo a spiegare il fenomeno osservato per rifrazione.

La luce, che attraversa le due lenti nel punto di contatto *b* (fig. 428) fa vedere in detto punto una macchia luminosa. Nel punto *f*, che dista dalla lente superiore per un quarto d'onda, e per il qual punto per luce riflessa passava un anello colorato, si vede per luce rifratta passare un anello oscuro, perchè la parte del fascio luminoso *de*, che emerge dalla lente superiore, giunto in *f*, si divide in più parti, una delle quali *fl* attraversa la seconda lente, ed un'altra si riflette due volte, cioè in *f* e *g* nella direzione *fgh*, onde questo secondo raggio è in ritardo su *fl* di tre semionde, una delle quali ha perduto nell'attraversare due volte lo spazio *ef*, e due nel riflettersi due volte nell'aria. Nel punto *o* poi, che dista dalla lente superiore d'una semionda, ed in cui per riflessione vedevasi oscurità, ora ha luogo la luce, perchè il raggio *oqr* trovasi in ritardo sul raggio *np* di due intere onde. Nel punto *n* distante da *t* per $\frac{3}{4}$ d'onda si avrà oscurità, perchè *uxy* diversifica da *tv* per cinque semionde. Così procedendo, conosceremo, che nei punti, in cui per luce riflessa si vedevano anelli colorati, per luce trasmessa si debbono vedere anelli oscuri, e viceversa.

La varia lunghezza dell'onda dei diversi colori spiega il perchè gli anelli prodotti dai colori più rifrangibili sono di minor diametro, ed il perchè, quando si sperimenti con luce bianca, debba aversi un sistema di anelli iridescenti. Ognuno pur vede che, siccome col premere l'una contro l'altra le due lenti si diminuiscono le distanze *fe*, *on*, *ut*, debbono crescere le distanze *bf*, *bo*, *bn*.

864. Diffrazione. — Un altro fenomeno, che pure si spiega colle interferenze è la *diffrazione*, la quale fu prima d'ogni altro osservata dal P. Grimaldi e poi studiata da Newton, che non potè darne la vera spiegazione, perchè egli sosteneva la teoria dell'emissione (734). I fenomeni di diffrazione sono i seguenti. Se introducasi per un piccolo foro praticato in lastra sottile in una camera oscura un fascio di raggi d'un dato colore, ed alla distanza di circa tre metri si opponga ad esso normalmente un piano di carta bianca od un vetro appannato; si scorge un'impronta circolare luminosa assai più grande di quella che dovrebbe essere, se i raggi avessero seguito un cammino rettilineo. Inoltre la detta impronta resta circondata da anelli concentrici alternati luminosi ed oscuri. Si complica il fenomeno, se alla distanza d'un metro dal foro s'interponga parallelamente al piano di carta, su cui si rappiglia la luce, un sottile filo metallico od un capello, mentre allora vedesi l'ombra di questo più ampia del dovere, ed osservasi nel suo mezzo una stria luminosa, avente d'ambedue i lati bande alternativamente luminose ed oscure. Si ha consimile fenomeno, se invece di far passare la luce per un forellino circolare, si faccia passare fra i lembi affilati di due lamine avvicinate parallelamente fra loro in modo che i lembi abbiano una mutua distanza minore di 10 millimetri. Le suddette bande sono tanto più strette, quanto più rifrangibile è la luce sperimentata. Che se la luce è bianca, invece delle bande alternate luminose ed oscure, si hanno bande iridescenti.

La causa del fenomeno è la seguente. Quando un sistema d'onde eteree batte negli orli della piccola fessura, viene esso ad essere turbato, come precisamente vediamo avvenire in un sistema di onde acquee, che sia costretto a passare per una stretta apertura. Gli orli di questa addivengono come centri, che diramano le onde in tutti i sensi: da qui nasce l'ampliarsi dell'impronta luminosa; e la mutua influenza dei raggi procedenti dai due centri è causa delle interferenze, che costituiscono le bande luminose ed oscure, le quali circondano l'impronta suddetta. Rappresenti poi *ab* (fig. 429) il fuscellino interposto ai raggi di luce: considerando i due raggi *um*, *dm* che vengono uno da una parte del cilindretto e l'altro dall'altra, e che s'incontrano nel punto medio *m*, ci sarà manifesto, che, avendo essi fatto un eguale cammino, debbono produrre luce viva in *m*. Scostandoci da una parte e dall'altra, ci incontreremo nei punti *o* ed *n*, in cui vi deve essere ombra, perchè i raggi *do*, *un* sono rispettivamente più lunghi per una semionda dei raggi *uo*, *dn*. Si avranno pure punti luminosi in *s*, *t*, perchè i raggi *ds*, *ut* sono d'un'onda più lunghi dei raggi *us*, *dt*. Non crediamo necessario dire la ragione, per la quale più strette sono le bande, se l'esperimento si fa con luce più rifrangibile, e sono iridescenti, se si usi luce bianca, essendo la detta causa ben manifesta per le cose fin qui esposte.

Se fra la fiamma d'una candela e l'occhio vi sia un gran numero di corpuscoli opachi, come i peli dei cigli, le barbe d'una penna, si vede la fiamma circondata da anelli iridescenti, che hanno per causa la diffrazione prodotta dai corpuscoli suddetti.

Nella malattia oculare detta *glaucome* una sottile polvere organica si spande e nuota nell'umor acqueo, e perciò l'ammalato vede i suddetti anelli intorno alle fiaccole.

CAPO XII.

DOPPIA RIFRAZIONE

865. Fenomeno della doppia rifrazione. — Abbiamo veduto (760), che un raggio di luce, il quale dall'aria passa in un mezzo più rifrangente, si piega avvicinandosi alla normale condotta nel punto d'incidenza alla superficie dirimente. Se però il raggio di luce entra in alcuni cristalli detti *birifrangenti*, ha luogo il fenomeno della *doppia rifrazione*; cioè il raggio rifratto è doppio, sicchè ad ogni raggio incidente ne corrispondono due rifratti. I cristalli, che godono di questa proprietà, sono quelli i quali non appartengono al sistema cubico, e specialmente il detto fenomeno si osserva nello spato islandico, ossia carbonato di calce. Nel quarzo o cristallo di rocca la doppia rifrazione è debolissima, e per renderla visibile fa di bisogno di uno strato assai grosso. Si può avere la doppia rifrazione anche nel vetro, modificandolo con uno dei seguenti modi; cioè 1° col comprimere un grosso cubo di vetro per mezzo d'una morsetta; 2° collo scaldare una cornice quadrata di metallo, e poscia introdurvi prontamente il cubo; o 3° collo scaldare il vetro ed introdurlo nella cornice metallica fredda. Il potere birifrangente però rimane nel vetro soltanto finchè dura la compressione nel primo caso, e finchè la temperatura non diviene uniforme in tutto il vetro negli altri due.

Rappresenti *afdchlb* (fig. 430) un romboedro di spato islandico e siano *a*, *b* i due angoli solidi composti da tre angoli piani ottusi: condotte le diagonali *ad*, *bg* agli angoli ottusi delle due basi, superiore ed inferiore, il piano quadrilatero, che passa per queste diagonali, chiamasi *sezione principale* del romboedro, e la diagonale *ab* guidata tra i due angoli solidi formati da angoli piani tutti ottusi si dice *asse del cristallo*. Una sezione principale venga rappresentata da ABCD (fig. 431), e sul lato CD di essa cada un raggio di luce EF. Questo rifrangendosi, si divide in due, cioè in FG ed in FL, i quali, rifrangendosi di nuovo nell'egresso dal romboedro, prendono le direzioni GH, LM parallele al raggio incidente. Uno dei raggi rifratti segue le leggi ordinarie della rifrazione (761), e l'in-

dice di rifrazione tra aria e spato è $\frac{5}{3}$. L'altro raggio si separa dal primo, facendo con esso entro al romboedro un angolo costante di 6°,16'. La rifrazione del primo raggio dicesi *ordinaria* e *straordinaria* quella dell'altro. Facendo cadere il fascio di luce su di un cristallo di spato islandico sotto diverse direzioni, se ne trova una, in cui il fascio di luce non si divide, ma solo subisce la rifrazione ordinaria. Tale direzione appellasi *asse ottico*, e Brewster ha mostrato essere parallelo all'asse del cristallo.

866. Cristalli negativi e positivi. — Qui si deve notare, che il raggio di rifrazione straordinaria, mentre in alcuni cristalli, come nello spato islandico, è ripiegato quasi fosse respinto dall'asse del cristallo, in altri cristalli si avvicina all'asse, come se da questo fosse attratto. I cristalli birifrangenti della prima specie si dicono *negativi*, *positivi* quelli della seconda.

867. Immagini prodotte dai cristalli birifrangenti. — Osservato un oggetto attraverso d'un cristallo birifrangente, vedesi doppio, e dopo l'esposto è facile capirne la causa. Difatti, un occhio collocato in O (fig. 432) traguardi per mezzo d'un cristallo birifrangente MN un punto A. Questo emetta un raggio di luce AB, il quale si dividerà in BC, raggio di rifrazione ordinaria, ed in BE, raggio di rifrazione straordinaria, i quali raggi esciranno in direzione parallela all'incidente AB, e per ciò il primo andrà secondo CD e non entrerà nell'occhio, ed il secondo prenderà la direzione EO, penetrerà nell'occhio, che vedrà in *a'* un'immagine dell'oggetto A. Fra tanti raggi, che partono da A, un altro ve ne sarà, ad esempio A*b*, il quale birifrangendosi, parte formerà il raggio *bc* di rifrazione ordinaria, e parte il raggio *be* di rifrazione straordinaria. Il primo intersecherà in I il raggio straordinario BE appartenente al fascio incidente AB, ed emergendo dal cristallo, prenderà la direzione *c*O parallela ad A*b*, ed entrerà nell'occhio O; onde questo vedrà un'altra immagine *a* dell'oggetto A. Il raggio *be* di straordinaria rifrazione, emergendo pure parallelamente al raggio incidente, non entrerà nell'occhio, ma procederà nella direzione *ef*. Delle due immagini adunque l'una, cioè *a'*, è causata dalla luce rifratta straordinariamente, e l'altra *a* è formata dalla luce, che ha subita la rifrazione ordinaria, ed i fasci luminosi, che hanno generate le due immagini, si sono intersecati nell'interno del cristallo; il che si prova col fare scorrere sotto al romboedro tra la faccia B*b* e l'oggetto A un foglio di carta da N verso M; poichè si vedrà sparire prima *a*, poi *a'*. Per conoscere poi quale delle due immagini provenga dai raggi di rifrazione ordinaria, si deve porre l'occhio verticalmente sopra all'oggetto A e poi interporre il romboedro: l'immagine di rifrazione ordinaria sarà quella, che occupa lo stesso posto dell'oggetto, perchè i raggi di luce, che cadono normalmente su d'un corpo trasparente, non deviano, se obbediscono alle leggi della semplice rifrazione (760). Che se per essere le immagini troppo vicine fra loro, riesce difficile il determinare, quale sia delle due quella, che sta proprio verticalmente sotto all'occhio, si fa rotare il cristallo intorno ad un asse verticale, che s'immagina innalzato dall'oggetto, e si vedrà una delle imma-

gini fare un giro intorno all'altra, che rimane ferma al suo posto. Questa sarà l'ordinaria, quella la straordinaria.

868. Leggi della doppia rifrazione. — Le leggi, che hanno luogo nella duplice rifrazione, possono ridursi alle seguenti. 1ª. Il raggio ordinario, qualunque sia il piano d'incidenza, segue sempre le due leggi della rifrazione semplice (761). 2ª. In ogni sezione perpendicolare all'asse anche il raggio straordinario segue queste due leggi come l'ordinario, ma il suo indice di rifrazione non è eguale a quello di quest'ultimo raggio; d'onde la distinzione d'*indice ordinario* e *d'indice straordinario*. Nei cristalli birifrangenti negativi (864) l'indice straordinario è maggiore dell'ordinario, ma in vece questo è maggiore di quello nei positivi. 3ª. In ogni sezione principale il raggio straordinario segue soltanto la prima legge della rifrazione semplice, cioè i piani d'incidenza e di rifrazione coincidono, ma non è costante il rapporto tra i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione.

869. Cristalli a doppio asse ottico. — Molti cristalli birifrangenti sono dotati d'un doppio asse ottico, e tali sono i solfati di nichelio, di magnesio, di barite, di potassio, di ferro, lo zucchero, la mica, il topazio del Brasile. Ha dimostrato Fresnel, che nei cristalli a due assi in genere nessuno dei due raggi rifratti segue le leggi della semplice rifrazione. Se però si chiamino *linea media* e *linea supplementare*, le linee, che bisecano l'angolo formato dai due assi e l'angolo a questo supplementare; Fresnel ha fatto conoscere che in ogni sezione perpendicolare alla linea media uno dei due raggi segue le leggi della rifrazione ordinaria, e che in ogni sezione normale alla linea supplementare obbedisce a queste leggi l'altro raggio. Fuori di questi due casi nessuno dei due raggi, come si è detto, è di rifrazione ordinaria.

870. Causa della birifrazione. — Fu detto, che le vibrazioni eteree, le quali costituiscono la luce, sono trasversali (735), e vedremo in seguito (879), che il piano, in cui giacciono le onde del raggio ordinario è perpendicolare alla sezione principale del cristallo birifrangente, mentre è a questa parallelo il piano, in cui giacciono le ondulazioni eteree del raggio straordinario. Si ammetta ora che un cristallo birifrangente sia isotropo per il raggio ordinario, anisotropo per lo straordinario (72); sia tale cioè, che mentre per esso le onde eteree giacenti in piani perpendicolari alla sezione principale si possono propagare con eguale velocità in tutte le direzioni; le onde eteree, il cui piano sia parallelo alla sezione principale, si propagano con diversa velocità nelle diverse direzioni, e precisamente con velocità minima nella direzione dell'asse ottico, massima in direzione normale al detto asse, se il cristallo birifrangente è negativo (866), viceversa, se è positivo.

Rappresenti pertanto (fig. 433) A A′ l'asse d'un cristallo birifrangente negativo, ed in un punto O di quest'asse sia collocato un punto luminoso. Essendo esso cristallo isotropo per i raggi ordinarii, questi in tempi eguali percorreranno gli spazii eguali OA, OI, OH..... ; per il che il luogo geometrico delle posizioni, alle quali è giunto il movimento vibratorio in un dato tempo, sarà rappresentato dalla sfera AIA′H; si avrà cioè un sistema d'onde

sferiche. Ma non sarà così per i raggi straordinarii, per i quali il cristallo è anisotropo. Mentre uno di questi impiega un dato tempo a percorrere lo spazio OA secondo l'asse ottico, un altro nel medesimo tempo percorre uno spazio maggiore OB in direzione normale all'asse, ed altri raggi percorrono spazii di lunghezza intermedia nelle intermedie direzioni, cosicchè il luogo geometrico delle posizioni, a cui in un dato tempo è pervenuto questo secondo moto vibratorio, è un'elissoide A B A'B' circoscritta alla sfera, avente per asse minore il diametro di questa. Che se il cristallo birifrangente fosse positivo, le onde relative ai raggi straordinarii sarebbero elissoidali, ma il diametro della sfera sarebbe l'asse maggiore, e l'elissoide verrebbe ad essere inscritta alla sfera.

Si ripeta dopo ciò la costruzione, con cui in genere si dimostrò la rifrazione di un sistema qualunque di onde (84). Si consideri a tale uopo una falda di luce, il cui piano coincida colla sezione principale d'un cristallo birifrangente ad un asse; e sia M N (fig. 434) la superficie che separa quel cristallo dall'aria. Rappresenti L T S T' una parte della detta falda luminosa, che immaginiamo provenire da un'immensa distanza, affinchè i raggi L T, S T' che la limitano, possano considerarsi come paralleli, e le onde comprese possano rappresentarsi con linee rette piuttosto che con archi circolari. Suppongasi infine, che A' A sia la direzione dell'asse del cristallo. Fatto centro nel punto T, in cui il raggio LT tocca la superficie dirimente, e con apertura di compasso corrispondente alla velocità del raggio ordinario si descriva il cerchio A O A'. Si descriva ancora l'ellisse B A B' A', il cui asse minore sia il diametro del detto cerchio, ed il semiasse maggiore T B' corrisponda alla velocità massima del raggio straordinario. Si conduca da T ad S T' la perpendicolare T P: questa rappresenterà la superficie dell'onda nel momento, che questa col punto T tocca la superficie dirimente. Allorchè adunque il raggio L T penetra nel cristallo, il movimento, che si propaga secondo l'altro raggio, non è giunto che in P, e quando questo movimento sarà pervenuto in T', il raggio ordinario, che ha origine in T, avrà raggiunto un punto della circonferenza, e lo straordinario un punto dell'ellisse. Per determinare questi due punti, conducansi le tangenti T'O, T'E, e comprenderemo, che O ed E sono i punti cercati, e che per ciò T O è il raggio ordinario, T'E lo straordinario, OT', O'V sono le superficie delle onde ordinarie, ET', E'V' quelle delle straordinarie.

CAPO XIII.

POLARIZZAZIONE DELLA LUCE

---

871. *Polarizzazione rettilinea* — 872. *Polarizzazione per riflessione* — 873. *Fenomeni di polarizzazione* — 874. *Angolo e piano di polarizzazione* — 875. *Metodi per riconoscere il detto piano* — 876. *Polariscopio di Noeremberg* — 877. *Polarizzazione per semplice rifrazione* — 878. *Polarizzazione per doppia rifrazione* — 879. *Spiegazione della polarizzazione* — 880. *Polarizzazione rotatoria* — 881. *Sostanze destrogire e levogire* — 882. *Prisma di Nicol.* — 883. *Saccarimetro* — 884. *Uso del medesimo in medicina* — 885. *Interferenze della luce polarizzata* — 886. *Pinzette a tormaline* — 887. *Polarizzazione ellittica* — 888. *Polarizzazione circolare.*

871. Polarizzazione rettilinea — La *polarizzazione rettilinea* della luce, scoperta da Malus nel 1810 consiste in una modificazione particolare dei raggi luminosi, per la quale si vedono inetti ad essere riflessi o rifratti in certe circostanze; la luce poi può polarizzarsi o per riflessione, o per semplice rifrazione, o per doppia rifrazione.

872. Polarizzazione per riflessione. — Sia AB (fig. 435) (M) una lastra di vetro tinta in nero, e su questa cada un raggio di luce LE con tale obliquità, da fare colla superficie riflettente un angolo BEL di 35°, 25′: il detto raggio si rifletterà, prendendo la direzione EF, e già sarà polarizzato e produrrà i seguenti fenomeni.

873. Fenomeni di polarizzazione. — 1°. Si prenda una seconda lamina di vetro tinta in nero CD, e questa si collochi parallelamente alla prima ed in modo tale da poter girare intorno al punto F, conservando sempre la medesima inclinazione con il raggio riflesso EF. Stando la lamina CD parallelamente ad AB, il raggio EF, battendo in F, si riflette di nuovo, e prende la direzione FP, cosicchè un occhio collocato in P riceve questa luce e vede in *l* un'immagine di L. S'incominci a girare la lamina CD, come si è detto di sopra: tosto l'immagine *l* principia ad illanguidirsi, prosegue quindi sempre più a farsi debole, e sarà totalmente svanita, quando la lamina avrà rotato per 90°: il qual fatto dimostra, che il raggio EF non può essere in verun conto riflesso in questa direzione. Seguitando a far girare nel medesimo senso la lamina, subito torna a ricomparire l'immagine *l*, che languida sul principio va sempre più crescendo in intensità, e torna al suo massimo splendore, allorchè la lamina ha compiuto un mezzo giro, cioè quando avrà presa la posizione indicata in (N). Nel secondo mezzo giro si rinnovano i fenomeni del primo, vale a dire l'immagine s'illanguidisce, finchè non torna a dileguarsi del tutto, allorchè CD giunge a tre quarti di giro: dopo di che riapparisce, aumenta d'intensità, e giunge al massimo di splendore, quando la lamina ha

compiuto il giro intero. Si deduce da tutto ciò, che la luce polarizzata, battendo su d'uno specchio, non può totalmente riflettersi, che nel medesimo piano d'incidenza, il quale aveva nella riflessione, che l'ha polarizzata, e che non è in verun conto riflessa in un piano a questo normale.

Secondo fenomeno. Sia A B (fig. 436) una lamina di vetro tinta in nero, ed un raggio di luce L E cada su di essa sotto un angolo d'inclinazione di 35°, 25': la luce si riflette polarizzata. Facciasi cadere questa luce polarizzata su d'un corpo birifrangente, ad esempio sopra un romboedro di spato islandico collocato in modo, che la sezione principale G H I K sia parallela al piano d'incidenza L E B (865): il raggio attraverserà il detto cristallo senza dividersi in due, ma presenterà la sola direzione, che appartiene alla rifrazione ordinaria. Non si birifrange ancora la luce polarizzata allorquando la sezione principale del cristallo è perpendicolare al piano d'incidenza, nel quale secondo caso il raggio prende la direzione dovuta alla rifrazione straordinaria. Nelle altre posizioni del romboedro anche la luce polarizzata si birifrange.

Terzo fenomeno. La luce polarizzata non può attraversare una lamina di tormalina, il cui asse di cristallizzazione sia parallelo al piano d'incidenza, nel quale la luce si è polarizzata, mentre l'attraversa tanto più facilmente, quanto più esso asse si accosta ad esser normale al menzionato piano.

874. Angolo e piano di polarizzazione. — Tutti i corpi possono polarizzare la luce per mezzo della riflessione, ma più o meno completamente e sotto angoli d'incidenza diversi. L'ossidiana meglio di tutte le altre sostanze gode del potere polarizzante; molto bene ancora il marmo nero polarizza la luce, e soltanto parzialmente ciò fanno il diamante, il vetro ordinario, il vetro d'antimonio. I metalli poi sono quelli, che tra tutti i corpi posseggono meno tale facoltà.

Dicesi *angolo di polarizzazione* d'una sostanza quello che deve fare un raggio di luce incidente con una superficie piana e levigata di essa sostanza, acciocchè il raggio riflesso sia polarizzato al massimo grado possibile. Dicemmo che per una lastra di vetro nero quest'angolo è di 35°, 25'; per l'acqua è di 37°, 28'; pel diamante di 22°, e di 33°, 30' per l'ossidiana. Brewster ha fatto conoscere, che in genere l'angolo di polarizzazione è quell'angolo d'incidenza, pel quale il raggio riflesso è perpendicolare al raggio rifratto.

Si chiama poi *piano di polarizzazione* quello in cui la luce polarizzata presenta i descritti fenomeni, cioè quello, in cui 1° giace la luce polarizzata e secondo il quale si può riflettere, 2° a cui posta parallela la sezione principale d'un cristallo birifrangente, il raggio polarizzato, attraversando il cristallo, non si birifrange, ma subisce soltanto la rifrazione ordinaria, 3° a cui posto parallelo l'asse d'una tormalina, questa non viene attraversata dalla luce polarizzata. Risulta dall'esposto, che nella luce polarizzata per riflessione il piano di polarizzazione coincide con quello d'incidenza.

875. Metodi per riconoscere il piano di polarizzazione. — Quando si voglia conoscere il piano di polarizzazione della luce

polarizzata, si può usare uno dei seguenti modi: 1° Si osservi un oggetto che tramandi la detta luce, ponendo avanti all'occhio un romboedro di spato islandico. Ordinariamente si vedranno due immagini (867). Si giri il cristallo, finchè non si scorga che sola un'immagine: se questa è l'ordinaria, il piano di polarizzazione è parallelo alla sezione principale del romboedro; ma se invece l'immagine è la straordinaria, il detto piano è perpendicolare alla sezione principale. 2° Si faccia passare la luce polarizzata per una lamina di tormalina collocata avanti all'occhio, e questa si giri, finchè la luce più non l'attraversi: sarà il piano di polarizzazione un piano parallelo all'asse del cristallo.

876. Polariscopio di Noeremberg. — Tutti i sopradescritti fenomeni bene si osservano con un apparato detto *polariscopio* di Noeremberg. Sorgono da una base (fig. 437) due colonne d'ottone *d*, *b*, le quali sostengono una lastra di vetro *n* mobile intorno ad un asse orizzontale: un piccolo cerchio graduato *c* indica l'angolo che la detta lastra fa colla verticale. Fra i piedi delle due colonne avvi uno specchio piano orizzontale *p*. Alla loro estremità superiore queste due stesse colonne reggono un anello graduato *i*, nel quale può girare un disco circolare *o*, al cui centro è praticata un'apertura quadrangolare. Il medesimo disco *o* porta una lastra di vetro nero *m*, la quale fa colla verticale un angolo eguale a quello di polarizzazione. Finalmente un disco anulare *k* può essere fissato per mezzo delle viti *d*, *b*, a differenti altezze sulle colonne, ed un secondo anello *a*, sostenuto con due perni dal primo, può essere a piacere inclinato e porta un diaframma nero, al cui centro vi è un'apertura circolare che può essere munita d'una lente convergente.

Quando la lastra *n* fa colla verticale un angolo di 35°, 25′ cioè eguale a quello di polarizzazione del vetro, i raggi luminosi, che come S*n* incontrano questa lamina sotto tale angolo, si polarizzano, riflettendosi nella direzione *np* verso lo specchio *p*, il quale li rimanda indietro nella direzione *pnr*. Dopo di avere attraversata la lastra *n*, il fascio polarizzato cade sullo specchio *m* sotto un angolo di 35°, 25′, perchè la lastra *n*, come si è detto, fa quest'angolo colla verticale. Si faccia ora rotare orizzontalmente l'anello *o*, a cui si è fissato lo specchio: questo si viene a spostare, conservando sempre la medesima inclinazione. Si trovano due posizioni, nelle quali lo specchio non riflette il fascio incidente *nr*, e ciò accade quando il piano d'incidenza nello specchio *m* s'incrocia ad angolo retto col piano d'incidenza *snp*. In ogni altra posizione dello specchio il fascio polarizzato è da esso riflesso in quantità variabile e la luce riflessa ha la massima intensità, quando i piani d'incidenza sulle lastre *m*, *n* sono paralleli fra loro. Se lo specchio *m* fa colla verticale un angolo o maggiore o minore di 35°, 25′, il fascio polarizzato è sempre riflesso in tutte le posizioni del piano d'incidenza.

Tolto il disco *o* coll'annesso specchio, si collochi in sua vece il tubetto *g* (fig. 438), entro cui trovasi una lamina di tormalina. Facendo girare il tubo, si verifica, che il raggio polarizzato per ogni giro due volte non attraversa la tormalina, e ciò avviene quando l'asse del cristallo è parallelo al piano di polarizzazione e

due volte totalmente l'attraversa, quando cioè l'asse della tormalina è perpendicolare al detto piano di polarizzazione. Che se nel tubo *g* in vece della tormalina vi fosse un prisma birifrangente, si otterrebbe una sola immagine ogni qual volta il piano della sezione principale del prisma coincide col piano di polarizzazione, od è ad esso normale. Per ogni altra posizione del prisma si vedono due immagini, le cui intensità luminose variano secondo la direzione, che prende la sezione principale.

877. Polarizzazione per semplice rifrazione. — La luce si può in secondo luogo polarizzare per semplice rifrazione. Difatti, quando un fascio di luce non polarizzata cada sopra una lastra di vetro sotto l'angolo di polarizzazione, non è riflesso che in parte, ma una parte è rifratta, ed attraversa la lamina. Se tale luce trasmessa batte sopra una lamina di tormalina in modo che il piano d'incidenza sia parallelo all'asse di cristallizzazione della tormalina, questa fa passare la luce, ma l'intercetta allorchè il detto asse è perpendicolare al piano d'incidenza, si dovrà pertanto conchiudere, che la luce si è polarizzata, e che il piano di polarizzazione è perpendicolare al piano d'incidenza e quindi al piano di polarizzazione della luce riflessa.

Polarizzazione per doppia rifrazione. — Finalmente si polarizza la luce per doppia rifrazione, col farla cioè passare per una sostanza birifrangente. In vero, si guardi attraverso ad un romboedro di spato islandico un punto luminoso: si vedranno due immagini. Ma se si pone tra l'occhio ed il romboedro una lastra di tormalina e questa si fa girare, ciascuna delle due immagini sparisce e ricomparisce due volte in ciascun giro; cioè quando l'asse della tormalina è parallelo alla sezione principale del romboedro sparisce l'immagine ordinaria ed è assai vivace la straordinaria, e viceversa quando l'asse è perpendicolare alla sezione principale, è molto viva l'immagine ordinaria e sparisce la straordinaria. Dal che si rileva essere i due raggi polarizzati, avendo il raggio ordinario il piano di polarizzazione parallelo alla sezione principale, e lo straordinario a questo perpendicolare.

879. Spiegazione della polarizzazione. — Si chiama *piano di vibrazione* d'un raggio di luce, quello su cui si effettuano le vibrazioni eteree trasversali, le quali costituiscono il raggio luminoso, e si ammette che un raggio isolato è naturalmente polarizzato, essendo il piano di polarizzazione perpendicolare a quello di vibrazione. Si ritiene cioè, che battendo un raggio di luce isolato sopra una superficie riflettente, questa non lo possa riflettere, se non quando il piano d'incidenza sia normale al piano di vibrazione, e che cadendo esso raggio di luce sopra una tormalina tagliata parallelamente all'asse, non possa attraversarla, se non quando il piano di vibrazione è parallelo all'asse di cristallizzazione, in modo che la tormalina si suole rassomigliare ad un crivello, i cui pertugii rettilinei e paralleli non lasciano passare le onde eteree, se non quando la larghezza di queste coincide colla lunghezza dei detti pertugii.

Deve poi dirsi, che un fascio di luce ordinaria non è polarizzato, perchè è costituito di più raggi i cui piani di vibrazione non sono

fra di loro paralleli, ma diretti in ogni senso, cosicchè, battendo esso fascio sopra di una superficie, in parte sarà sempre riflesso, perchè contiene sempre dei raggi il cui piano di vibrazione è perpendicolare al piano d'incidenza; e cadendo sopra una tormalina sarà in parte sempre trasmesso, perchè ha raggi i cui piani di vibrazione sono perpendicolari all'asse del cristallo, e raggi i cui piani di vibrazione sono al detto asse paralleli.

Allorquando un fascio di luce cade sopra di una superficie riflettente sotto l'angolo di polarizzazione, esso addiviene polarizzato, perchè nella riflessione rotano i piani di vibrazione dei singoli raggi, che costituiscono il fascio riflesso, in modo che questi piani si pongono tutti paralleli fra loro e perpendicolari al piano d'incidenza. Che se il fascio di luce ordinaria sotto l'angolo di polarizzazione batte su di un corpo trasparente, i piani di vibrazione dei raggi rotano, e parte si pongono perpendicolari al piano d'incidenza, parte a questo paralleli. I raggi, i cui piani di vibrazione sono perpendicolari al piano d'incidenza, sono riflessi, gli altri trasmessi, e perciò tanto il fascio riflesso, come il trasmesso sono polarizzati, ma con piani di polarizzazione ad angolo retto. Rotano pure i piani di vibrazione dei raggi luminosi, che costituiscono un fascio, il quale attraversa un cristallo birifrangente, e mentre i piani di vibrazione di alcuni raggi si dispongono normalmente alla sezione principale del cristallo, altri si mettono paralleli a questa. I primi formano il fascio di rifrazione ordinaria, gli altri quello di rifrazione straordinaria (870). Ambedue i fasci adunque dovranno essere polarizzati ed avere i piani di polarizzazione il primo parallelo, il secondo normale alla sezione principale. Finalmente se per una tormalina non possono passare che i raggi di luce i quali hanno il piano di vibrazione parallelo all'asse, la luce trasmessa dalla tormalina deve essere polarizzata con il piano di polarizzazione perpendicolare all'asse del cristallo.

880. Polarizzazione rotatoria. — Se un raggio di luce polarizzata attraversa una lamina di quarzo tagliata normalmente all'asse di cristallizzazione; questo raggio nell'emergere dal quarzo seguita ad essere polarizzato ma non nel piano di polarizzazione di prima. Il quarzo adunque ha la proprietà di far spostare il detto piano, ed a questo fenomeno è stato dato il nome di *polarizzazione rotatoria*. Venne esso osservato per la prima volta da Seebeck e da Arago, ma principalmente fu studiato da Biot, il quale fece conoscere che la rotazione del piano di polarizzazione non è la stessa per i varii colori semplici, ma è tanto più grande, quanto più il colore semplice è rifrangibile. Per un medesimo colore poi la detta deviazione del piano è tanto più notevole quanto più grande è l'ertezza della lamina di quarzo.

La polarizzazione rotatoria si osserva coll'apparato di Noeremberg (876) nel seguente modo: Si ponga nel detto apparecchio (figura 437) il tubo contenente la lamina di tormalina e sul diaframma *a* si collochi una lamina di quarzo tagliata perpendicolarmente all'asse. S' inclina poi la lastra *n* in maniera da far passare per il quarzo un fascio polarizzato Guardando attraverso della tormalina e girando il tubo si vedranno succedere i varii colori per il seguente

motivo. Secondo ciò che si è detto il quarzo ha fatto spostare il piano di polarizzazione disugualmente per i diversi colori, essendo questo spostamento minimo per il rosso, massimo per il violetto. Collocata pertanto la tormalina in modo che l'asse di cristallizzazione sia parallelo al piano d'incidenza, s'incominci a girare. In breve si giungerà a porre il detto asse parallelamente allo spostato piano di polarizzazione del rosso. Allora il raggio rosso non potrà più attraversare la tormalina, che bene trasmetterà gli altri sei raggi onde dovrà vedersi il colore complementare (791) del rosso. Seguitando a girare la tormalina, il suo asse si porrà parallelo al piano di polarizzazione dell'arancio; quindi sarà intercettato l'arancio, e vedrassi il suo colore complementare, e così via via.

Che se nel tubo invece della tormalina sia contenuto un prisma birifrangente, si vedranno due immagini colorate le cui tinte sono complementari l'una dell'altra. Esse, girandosi il prisma, cangiano di colore, passando per tutte le tinte spettrali, ma il colore dell'una sarà sempre complementare di quello dell'altra. Diamo spiegazione a tale fenomeno. Mentre l'angolo di spostamento del piano di polarizzazione del rosso è, secondo Biot, di 17°,30', per il violetto è 45°,05'. La luce polarizzata adunque, che ha attraversato il quarzo, ha i sette suoi raggi coi piani di polarizzazione assai divergenti fra loro. Per il che quando il fascio di luce bianca attraversa il prisma birifrangente, alcuni raggi colorati hanno il piano di polarizzazione meno divergente dalla sezione principale, che dal piano normale ad essa, mentre il piano di altri colori si avvicina meno a quella che a questo. Quindi è, che secondo le leggi della luce polarizzata (873), che attraversa un corpo birifrangente, i primi dovranno subire piuttosto la rifrazione ordinaria che la straordinaria, ed i secondi piuttosto la straordinaria che l'ordinaria, e per ciò le due immagini debbono essere di colori fra loro complementari.

881. Sostanze destrogire e levogire. — Non è il quarzo solo che abbia la facoltà rotatoria, ma questa appartiene a molte altre sostanze e specialmente ad un gran numero di liquidi e di soluzioni, e mentre alcuni di questi corpi spostano il piano di polarizzazione a destra, facendolo girare nel senso delle sfere di un orologio, altre lo spostano a sinistra: i primi furono detti corpi *destrogiri*, i secondi corpi *levogiri*. Biot ha osservato, che lo spostamento del detto piano può far conoscere delle differenze di composizione nei corpi in cui non se ne distingue alcuna coll'analisi chimica. Ad esempio, lo zuccaro d'uva è sostanza levogira, mentre quello di canna è sostanza destrogira. Si è quindi costrutto un apparato detto *saccarimetro*, il quale serve ad analizzare le sostanze saccarifere. Siccome questo ha per parti essenziali due *prismi di Nicol*, ci è necessario prima di descrivere il saccarimetro, dire in che consista il detto prisma.

882. Prisma di Nicol. — È questo uno dei migliori polarizzatori ed analizzatori, cioè molto bene serve a fare polarizzare la luce, ed a scoprire se essa è polarizzata o no. Di più è incoloro e fa passare un solo raggio nella direzione del suo asse: esso si forma nel modo seguente: Si prende un romboedro di spato islandico di 20 a 30 millimetri di lato, e di 8 a 9 di altezza, e si taglia in

due parti eguali per mezzo di un piano che sia perpendicolare alle due diagonali condotte nelle due basi fra gli angoli acuti; ossia il piano del taglio deve coincidere colla sezione principale. I due pezzi poi si ricongiungono col balsamo del Canadà, il cui indice di rifrazione è minore dell'indice ordinario dello spato, ma maggiore dell'indice straordinario del medesimo (868). Allorchè un raggio luminoso S*m* (fig. 439) penetra nel prisma, si birifrange, ma il raggio ordinario *mc*, battendo sulla superficie *ab* del balsamo, deve passare da un mezzo più rifrangente ad un altro che lo è meno, sotto un angolo maggiore dell'angolo limite (765): quindi è che subisce la riflessione totale, e prendendo la direzione *cdo* non giunge all'occhio collocato nella parte opposta a quella per cui entra la luce nel prisma. Il raggio poi di rifrazione straordinaria, battendo nel balsamo del Canadà, fa passaggio da un mezzo meno rifrangente ad uno che lo è più, e quindi avvicinandosi alla normale, prende la direzione *ne* e giunge all'occhio. Per scoprire se un raggio di luce è polarizzato lo faremo entrare in un prisma di Nicol, e facendo rotar questo, quando la luce sia polarizzata, essa dovrà durante un giro, due volte attraversarlo, e due volte essere intercettata, come avveniva nella tormalina (873).

883. Saccarimetro. — Consiste il saccarimetro in due prismi di Nicol aventi il centro in un medesimo asse, ove sono tenuti ad una distanza invariabile fra loro. Il più lontano dall'osservatore serve a polarizzare la luce, e questo è fisso: l'altro a cui si applica l'occhio è girevole intorno all'asse e porta un indice che segna sulla periferia di un cerchio graduato l'angolo di rivoluzione percorso. Serve questo secondo prisma da analizzatore. Si è detto poco fa, che dal prisma polarizzante di Nicol emerge il solo raggio straordinario, e si sa (878) che questo è polarizzato, e che ha il piano di polarizzazione perpendicolare alla sezione principale. Se adunque si giri il prisma analizzatore, in modo che la sua sezione principale venga ad essere normale a quella dell'altro, nella quale posizione l'indice portato dal primo deve corrispondere allo zero del cerchio graduato, il raggio polarizzato non potrà attraversare l'analizzatore (873). Ciò notato, si interponga ai due prismi un tubo d'una determinata lunghezza, che per lo più è di due decimetri, chiuso alle due estremità con due lastre di vetro a facce parallele, ed empito della soluzione di zuccaro, la cui natura si vuole conoscere. Si verificherà che il piano di polarizzazione rimane spostato o a destra o a sinistra; nel primo caso la soluzione è di zuccaro di canna, nel secondo di zuccaro d'uva.

Col detto istrumento si può conoscere ancora il grado di concentrazione della soluzione, imperocchè la rotazione cresce col grado di concentrazione del liquido. Spostandosi disugualmente i piani di polarizzazione dei varii colori, noi traguardando per l'analizzatore e girando questo, vedremo, la luce cambiare gradatamente di tinta. Essa prima apparisce di bellissimo azzurro, poscia di un rossogiallognolo, passando per un violaceo-azzurrognolo intermedio, molto facile a conoscersi per il suo carattere istantaneo di transazione; il quale colore intermedio è chiamato da Biot *tinta di passaggio*, e non si forma, che colla luce perfettamente bianca,

come quella diffusa dal cielo e dalle nubi. Posta la soluzione di zuccaro nell'apparato, si gira l'analizzatore finchè non si ottenga la linea di passaggio, e si osserva di quanti gradi siasi spostato l'indice. Chiamando con p il peso in grammi dello zucchero ridotto in polvere e disseccato in una stufa, contenuto in un litro d'acqua, con a l'angolo di rotazione, con m la lunghezza del tubo in millimetri, Biot per lo zucchero di canna ha trovata la formola $p = \frac{1400.a}{m}$, colla quale, determinato che sia sperimentalmente a, si può conoscere quanti grammi di zuccaro disseccato trovinsi in ogni litro d'acqua. Se il tubo è lungo 200 millimetri, ciascun grado di deviazione corrisponde a 7 grammi di zuccaro per litro.

884. Uso del saccarimetro in medicina. — È usato il saccarimetro in medicina per misurare la quantità di zuccaro contenuto nell'urina dei diabetici. A tal fine si versa in una provetta graduata un litro d'urina e 10 c.c. di una soluzione di sottoacetato di piombo, che fa precipitare la materia colorante, e si filtra il tutto. L'aggiunta di circa 10 c.c. d'acqua contenuta nel sottoacetato di piombo rende la totalità del liquido meno carica di zuccaro, ma se ne annulla l'effetto in quanto alla rotazione col fare il tubo un poco più lungo in modo da portare la sua lunghezza da 200 a 230 millimetri.

885. Interferenze della luce polarizzata. — Dopo la scoperta della polarizzazione della luce, Arago e Fresnel cercarono, se i raggi di luce polarizzata presentassero qualche singolare proprietà nei fenomeni d'interferenza (858), e poterono scoprire le seguenti leggi. 1ª Due raggi polarizzati in uno stesso piano interferiscono assolutamente come due raggi di luce non polarizzata. 2ª Se i due raggi sono polarizzati in due piani perpendicolari, non interferiscono nel caso, in cui interferirebbero due raggi di luce non polarizzata. 3ª Ancorchè due raggi polarizzati in piani normali siano ricondotti al medesimo piano di polarizzazione, pure non acquistano con ciò il potere d'interferire. 4ª Ma se però due raggi in principio siano polarizzati nel medesimo piano, e quindi siano condotti ad avere i piani di polarizzazione perpendicolari fra loro, ed in fine siano riportati ad un medesimo piano, hanno il potere d'interferire.

886. Pinzette a tormaline. — Notate queste regole, si possono spiegare con esse gli anelli colorati, i quali si osservano per mezzo dell'apparato, che suole chiamarsi *pinzette a tormaline*. Consiste questo in un filo metallico ripiegato a guisa d'una molla, come mostra la figura 440, e che coi due estremi tiene incassati due dischi di legno, ciascuno dei quali, essendo forato al centro, contiene una laminetta di tormalina tagliata parallelamente all'asse. Uno dei due dischi può rotare intorno a se stesso, cosicchè si può a piacere far prendere alle due tormaline una posizione, in cui i loro assi siano paralleli, ed una posizione, in cui i detti assi riescano fra loro normali. La molla poi ha l'officio di tenere un disco stretto contro l'altro. Si fissi entro ad un foro praticato in un disco di sovero M una lamina di cristallo birifrangente ad un solo asse, e si collochi questo disco fra le due tormaline, e quindi si applichi

l'occhio avanti ad una di queste. Allora se il cristallo birifrangente è tagliato normalmente al suo asse, e se si esperimenti con luce omogenea, si scorge una serie d'anelli colorati alternativamente brillanti ed oscuri. Con altro colore più rifrangibile si ottengono anelli consimili, ma di minor diametro. Che se in vece si sperimenti con luce bianca, anzi che avere anelli colorati ed oscuri, si avranno anelli iridescenti assai brillanti. In una parola il fenomeno sarà molto simile a quello degli anelli colorati di Newton (863). Poca variazione si ottiene negli anelli se venga girata la lamina birifrangente, ma se si faccia rotare una tormalina, si produce un gran cambiamento nel fenomeno. Difatti se le due tormaline hanno gli assi incrociati ad angolo retto, e si opera colla luce bianca, si osserva una serie di anelli variamente colorati attraversati da una croce nera; ma girandosi una tormalina per 90°, ciascun anello prende il colore complementare del precedente e la croce diventa bianca. Vediamo la causa del fenomeno.

La luce, che attraversa la tormalina si polarizza ed il piano di polarizzazione riesce perpendicolare all'asse di essa (879): la luce così polarizzata andrà di poi ad attraversare la lamina birifrangente. Si sa che la luce polarizzata, la quale passa per la sezione principale del corpo birifrangente, e per un piano perpendicolare alla detta sezione, non si divide (873), come dividesi quella, che passa per gli altri piani. Adunque la luce polarizzata dalla prima tormalina non tutta si birifrange quando attraversa la lamina intermedia, ma passa indivisa quella parte, che s'incontra colla sezione principale e col piano a questa normale. La luce che non passa per i detti piani, si decompone in raggio ordinario e straordinario, i quali due raggi seguitano ad essere polarizzati, non già nel medesimo piano di prima, bensì in piani diversi e fra di loro perpendicolari (879). Quantunque il raggio ordinario e straordinario nell'interno del corpo birifrangente non abbiano la medesima velocità (870), e perciò nell'emerger da esso un raggio sia in ritardo sull'altro, pure se il cristallo si osservasse per luce trasmessa ad occhio nudo, non si vedrebbe alcuna interferenza, perchè come insegna la seconda legge del paragrafo antecedente, non possono interferire fra loro due raggi polarizzati in piani reciprocamente normali. Passando però i detti due raggi per la seconda tormalina, sono da questa ricondotti allo stato di polarizzazione di prima, e per ciò interferiscono, come insegna la quarta legge. Interferendo pertanto il raggio ordinario e lo straordinario, dovremo avere o luce o tenebre se si agisce con luce semplice, o avere un colore, che varia a seconda del ritardo che ha subìto un raggio sull'altro nell'attraversare il cristallo birifrangente, quando si usi, come supponiamo, luce bianca (858); il quale ritardo dipende dall'ertezza di quella parte del cristallo, per cui passa la luce. Ora si rifletta, che nel nostro caso la lamina birifrangente è attraversata da un fascio conico di luce, il cui vertice è nell'occhio dell'osservatore. Segue quindi, che i raggi più si discostano dal centro della detta lamina, più ritardo debbono presentare tra il raggio ordinario e lo straordinario, perchè attraversano più obliquamente la lamina e per conseguenza per maggior tratto. Tal ritardo poi sarà eguale per tutti

i raggi, che sono equidivergenti dall'asse di detto cono. Quindi è che i punti, che si trovano ad egual distanza dal centro della lamina, debbono comparire d'egual colore. I punti, che sono pure ad egual distanza dal centro della lamina, ma a distanza diversa da quella dei primi, dovranno pure comparire tutti d'un sol colore, ma diverso da quello dei primi, poichè la luce che passa per i detti secondi punti, attraversa più o meno obliquamente la lamina e per ciò, essendo diverso il ritardo tra il raggio ordinario e lo straordinario, questi subiscono una diversa interferenza. Con ciò si spiega la formazione degli anelli colorati. Ci rimane a dire, come si formi la croce nera e la croce bianca. La luce polarizzata, che avendo attraversato il corpo birifrangente nella sezione principale, ed in un piano a questo perpendicolare, non si è divisa, non ha cambiato il piano di polarizzazione primitivo, e per ciò ha questo piano perpendicolare all'asse della prima tormalina. Allorchè adunque la seconda tormalina ha il suo asse normale a quello della prima, il detto asse della seconda tormalina sarà parallelo al piano di polarizzazione della luce indivisa, e perciò non potrà questa passare per quella; onde apparirà una croce nera, di cui un ramo è prodotto dall'essere intercettata la luce, che è passata indivisa per la sezione principale del cristallo birifrangente, e l'altro ramo dall'essere intercettata la luce, che ha attraversata la sezione perpendicolare alla prima. Che se la seconda tormalina ha l'asse parallelo a quello dell'altra, il detto asse sarà perpendicolare al piano di polarizzazione della luce indivisa, la quale per conseguenza liberamente si trasmette dalla seconda tormalina; onde vedesi la croce bianca.

Qui è bene di notare, che se la lamina birifrangente non è tagliata normalmente all'asse, ovvero si usa un cristallo a doppio asse, gli anelli, invece di essere circolari e concentrici, presentano la forma di curve a due centri. Varii pure sono gli effetti di colorazione, se si usi il vetro reso temporaneamente birifrangente colla pressione o coll'indurci una varia temperatura.

887. Polarizzazione ellittica. — Si disse (885) che due raggi di luce polarizzati in piani perpendicolari non interferiscono fra loro, e la ragione è chiara. In vero se sono perpendicolari i piani di polarizzazione lo debbono pure essere quelli di vibrazione (879), per il che le ondulazioni dei due raggi non avvengono in un medesimo piano, onde non possono o sommarsi o distruggersi i loro moti, perchè non sono coincidenti od apposti. Due raggi però polarizzati ad angolo retto, incontrandosi, possono produre alcuni fenomeni che ora passiamo ad esporre. Procedano in un medesimo senso e s'incontrino due raggi polarizzati ad angolo retto, ma con differenza di cammino d'un valore determinato. S'immagini, ad esempio, che la vibrazione di uno dei detti raggi sia diretta secondo AO (fig. 441), e che la vibrazione dell'altro si effettui nella direzione AD perpendicolare alla prima, ed abbia minore ampiezza di questo, e si supponga inoltre, che esista tra i due movimenti vibratorii, una differenza di fase eguale alla quarta parte della lunghezza d'un'onda. Rammentare qui ci dobbiamo (70), che l'ampiezza della vibrazione va aumentando dal principio d'un'onda fino al suo quarto,

poi decresce fino alla sua metà, aumenta di nuovo fino al terzo quarto e decresce fino al terminare dell'onda. Ciò ricordato, diciamo che una molecola di etere A, che trovisi nel punto d'incontro dei due raggi, sarà animata contemporaneamente da due velocità, una diretta secondo AO, e che va aumentando da A fino ad O, l'altra diretta secondo AD, e che va diminuendo da A fino a D: la prima agendo sola, avrebbe per effetto di trasportare la molecola da A in O, la seconda, se pure agisse sola, la trasporterebbe nel medesimo tempo da A in D. Questi due movimenti si compongono, e danno una risultante, la quale per il continuo e vario cambiarsi dell'intensità delle componenti, deve cambiare continuamente in intensità e direzione; onde la molecola A percorrerà la curva AB in un tempo corrispondente alla quarta parte della durata d'un'onda. Nel secondo quarto della detta durata d'un'onda la velocità che agisce secondo AA′ decresce, spingendo la molecola da O ad A′, mentre l'altra velocità aumenta, spingendo essa molecola da D ad A, onde questa percorrerà la via BA′. In simil modo si dimostra, che la medesima molecola d'etere nei due successivi quarti di durata è obbligata a percorrere gli archi di curva A′B′, B′A. Si dimostra matematicamente, che l'orbita totale ABA′B′ è un'ellisse, e per ciò quando le vibrazioni dell'etere hanno presa questa forma, dicesi che il raggio luminoso ha subita la *polarizzazione ellittica*. L'asse minore dell'ellisse è massimo, quando la differenza di cammino dei due raggi è eguale alla quarta parte della lunghezza d'un'onda, che se la detta differenza è maggiore o minore della suindicata, non sarà più necessario per avere la polarizzazione ellittica, che i due raggi abbiano un'intensità diversa, ossia diversa ampiezza di vibrazione, e quanto più cresce o diminuisce la ripetuta differenza di cammino, tanto più diminuisce l'asse minore dell'ellisse, in modo da divenire zero quando la differenza è d'una semionda o zero, nei quali casi l'ellisse si riduce ad una linea retta, e la polarizzazione addiviene rettilinea.

Per conoscere se un raggio è polarizzato ellitticamente, si fa uso d'una lamina di tormalina, la quale in nessuna posizione è capace d'estinguere completamente il raggio, che ha subìta tale polarizzazione, il che distingue questa luce da quella che ha la polarizzazione comune. D'altra parte il fascio polarizzato ellitticamente veduto attraverso della tormalina, in due posizioni perpendicolari dell'asse di questa presenta un massimo ed un minimo d'intensità; il qual fenomeno non ha luogo nè colla luce naturale, nè con quella polarizzata circolarmente, di cui parleremo. Siccome la tormalina non fa passare i raggi di luce, il cui piano di polarizzazione è parallelo al suo asse, se ne deduce, che colla luce polarizzata ellitticamente il minimo di splendore ha luogo, quando l'asse minore dell'ellisse è parallelo all'asse della tormalina, e che al contrario ha luogo il massimo splendore, allorchè il parallelismo esiste tra l'asse maggiore e l'asse della tormalina.

888. Polarizzazione circolare. — Se i due raggi di luce polarizzati ad angolo retto, i quali hanno una diversità di cammino d'un quarto d'onda, invece d'essere d'intensità diversa, come si è supposto, fossero di eguale intensità, l'asse minore BB′ del-

l'ellisse verrebbe eguale all'asse maggiore A A', cioè l'ellisse si convertirebbe in un cerchio, e la luce verrebbe polarizzata *circolarmente*.

La luce così polarizzata non si distingue dall'ordinaria, quando sia veduta attraverso d'una tormalina, ma si riconosce dal seguente fenomeno. Se si fanno riunire due raggi polarizzati circolarmente, ma le cui vibrazioni circolari siano in direzione contraria, ne risulta un raggio polarizzato rettilineamente. Siano difatti (fig. 442) ABCD, A'B'C'D' due vibrazioni circolari, che si compiano nel senso delle frecce curve, e s'immagini, che esse due vibrazioni si sovrappongano, e che si decomponga ciascuna di esse in due vibrazioni rettilinee perpendicolari l'una all'altra, come è mostrato dalle frecce rette: si vede che le componenti AB; A'B' si elidono fra loro, perchè sono dirette in senso contrario, mentre le componenti C D, C' D' si sommano per produrre una vibrazione rettilinea.

CAPO XIV.

FLUORESCENZA E FOSFORESCENZA

889. *Fenomeni di fluorescenza* — 890. *Loro teoria* — 891. *Fosforescenza.*

889. Fenomeni di fluorescenza. — A terminare il trattato sul moto vibratorio dell'etere, causa della luce, ci rimane di dire qualche cosa sulla *fluorescenza* e sulla *fosforescenza.* Alcuni corpi trasparenti solidi o liquidi divengono luminosi per loro stessi, quando siano vivamente colpiti dalla luce. A questo fenomeno dassi il nome di fluorescenza, perchè in sommo grado tal proprietà appartiene allo spato-fluoro. Se, ad esempio, si diriga un fascio di raggi solari attraverso ad una soluzione di solfato di chinino, si vedrà la superficie del liquido, per la quale entra la luce, illuminarsi e diffondere raggi di un bel colore azzurro-celeste. I raggi solari, che hanno dato causa al fenomeno, prendono il nome di *luce induttrice*, e dicesi *luce indotta* quella emessa dal corpo. È grande il numero delle sostanze fluorescenti, ed al più alto grado lo sono lo spato-fluore, il vetro d'uranio, il platino-cianuro di potassio, la soluzione alcoolica di clorofilla, la soluzione di solfato di chinino nell'acqua acidulata con acido solforico o tartarico.

I metalli, il carbone, il quarzo ed altri corpi sono *inattivi*, cioè privi di fluorescenza. La luce emessa per fluorescenza è sempre colorata; è azzurra nel solfato di chinino, verde nel vetro di uranio, rossa nella clorofilla. Non tutti i raggi colorati possono produrre la fluorescenza, ma si è veduto, che la luce induttrice deve avere una rifrangibilità almeno eguale a quella, che il corpo

emette per fluorescenza. Ad esempio, un raggio rosso o giallo non può eccitare il fenomeno nella soluzione di chinino, perchè questo liquido emette un colore più rifrangibile del rosso e del giallo. Siccome i raggi chimici sono più rifrangibili dei colorati, sono essi capaci d'indurre la luce azzurra nella sudetta soluzione, ed è perciò, che decomponendo col prisma un fascio di luce solare, se con un diaframma s'intercettino i raggi colorati, e si facciano cadere i raggi ultra-violetti nella soluzione di chinino, divengono essi visibili, ed in tal modo si rende visibile lo spettro ultra-violetto (785).

890. Teoria della fluorescenza. — La fluorescenza è per la luce un fenomeno analogo a quello della risonanza (257) relativamente al suono. Quando un raggio di luce colpisce un corpo, le molecole ponderabili di questo si pongono a vibrare all'unisono colle vibrazioni eteree. Ma le molecole d'un corpo non sono capaci a vibrare all'unisono con tutti i raggi colorati, e solamente lo sono con quelli dotati d'una data rifrangibilità, come le corde d'un'arpa possono vibrare all'unisono ed essere scosse solamente da onde d'una data velocità e non da quelle corrispondenti ad un tono più grave. Se adunque su di un corpo si fa cadere un dato raggio di luce, e se con questo possono vibrare all'unisono le molecole del corpo, le vibrazioni si comunicano ad esse, e però divengono queste molecole centri di scotimento, ossia luminose.

Ma come avviene, che tali vibrazioni possano eccitarsi nel corpo da un raggio di luce più rifrangibile di quello, con cui le molecole oscillano all'unisono? È questo un altro punto di somiglianza fra il suono e la luce. Difatti (262) se avanti ad un piano-forte si produce un suono d'una data altezza, non solo si pone a vibrare la corda corrispondente, ma ancora oscillano quelle, che corrispondono alle armoniche di quel suono. Se una corda, la quale dà un suono fondamentale, contenga un'armonica, corrispondente ad un suono che venga prodotto; ad una parte di questa corda di tal lunghezza, che le vibrazioni, le quali si possono in esse indurre, siano all'unisono di quelle del suono inducente, si comunica il moto vibratorio, e questo moto vibratorio, diramandosi da una parte all'altra, va finalmente a far vibrare l'intera corda. Può adunque una vibrazione più breve comunicarsi ad un corpo disposto a vibrare all'unisono con un'onda più lunga. Il medesimo avviene nel fenomeno di fluorescenza: le molecole del corpo fluorescente si pongono in movimento sotto l'influenza delle vibrazioni eteree, non solamente quando queste hanno la medesima lunghezza d'onda di quella delle oscillazioni proprie delle molecole ponderabili, ma anche quando le onde eteree hanno periodi più corti.

891. Fosforescenza. — Dicesi *fosforescenza* la proprietà di cui godono molte sostanze di divenir luminose quando sono state esposte al sole, e di continuare ad esserlo per un tempo più o meno lungo dopo di essere state sottratte dall'azione della luce induttrice. La fluorescenza, come nota Edmondo Becquerel, è una fosforescenza di corta durata. Fra le sostanze fosforescenti figurano il diamante, lo spato calcare, la maggior parte dei sali di calce, i composti di stronziana e di barite. Becquerel con un ap-

parato detto *fosforoscopio* ha conosciuto, che tutte le sostanze, eccettuati i metalli, sono fosforescenti, ma che, mentre alcuni corpi rimangono luminosi per un tempo notevole, altri non durano ad emettere la luce indotta, dopo che sono sottratti dall'azione dell'induttrice, che per una piccola frazione di secondo.

Anche la retina dell'occhio è fosforescente, e da questa proprietà dipende il perseverare dell'impronta luminosa nell'occhio, di cui tante volte si è parlato.

Per errore si attribuisce a fosforescenza la luce, che emettono alcuni animali, poichè questa non è già indotta dai raggi solari, ma nasce da azioni chimiche che hanno luogo negli animali stessi.

FINE.

INDICE

NOZIONI PRELIMINARI

MECCANICA

STEROSTATICA, STERODINAMICA

Capo I. — **Del moto in genere. - Leggi del moto uniforme.**

Capo II. — **Nozioni sulle forze.**

Capo III. — **Macchine.**

Capo IV. — **Gravità.**

Capo V. — **Del pendolo.**

Capo VI. — **Della bilancia.**

Capo VII. — **Moto vibratorio.**

IDROSTATICA ED IDRODINAMICA

Capo I. — **Principio di Pascal e pressione dei liquidi sui vasi.**

Capo II. — **Principio d'Archimede e peso specifico dei corpi.**

Capo III. — **Nozioni d'idrodinamica.**

Capo IV. — **Moto ondulatorio dei liquidi.**

PNEUMATICA

Capo IV. — **Macchina pneumatica.**

Capo V. — **Trombe.**

Capo VI. — **Diffusione dei gas.**

ACUSTICA

Capo I. — **Del suono in generale.**

Capo II. — **Misura del numero delle vibrazioni.**

Capo III. — **Intensità e propagazione del suono.**

Capo IV. — **Intervalli musicali.**

Capo V. — **Vibrazioni delle corde.**

CAPO VI. — **Tubi sonori.**

CAPO VII. — **Della risonanza.**

CAPO VIII. — **Tempera dei suoni.**

CAPO IX. — **Voce umana.**

CAPO X. — **Organo dell'udito.**

CAPO XI. — **Interferenze delle onde sonore. - Battimenti.**

CAPO XII. — **Principii di percussione e di ascoltazione.**

ELETTROLOGIA

CAPO I. — **Prime nozioni sulla elettricità.**

Capo II. — Leggi delle attrazioni e ripulsioni elettriche.

Capo III. — Distribuzione dell'elettricità in un corpo.

Capo IV. — Influenza elettrica.

Capo V. — Macchine elettriche.

Capo VI. — Condensatori.

Capo VII. — Elettricità atmosferica.

Capo VIII. — Fenomeni magnetici.

Capo IX. — Pila di Volta.

CAPO X. — **Effetti della pila di Volta.**

CAPO XI. — **Varie forme della pila di Volta.**

CAPO XII. — **Elettro-magnetismo.**

CAPO XIII. — **Intensità della corrente elettrica.**

CAPO XIV. — **Induzione.**

CAPO XV. — **Apparati d'induzione.**

Capo XVI. — **Termo-elettricità.**

Capo XVII. — **Apparecchi usati nell'elettro-fisiologia.**

Capo XVIII. — **Corrente muscolare e nervosa.**

Capo XIX. — **Azione della corrente sui nervi e sui muscoli.**

Capo XX. — **Applicazioni fisiologiche e terapeutiche dell'elettricità.**

TERMOLOGIA

Capo I. — **Dilatazione dei corpi pel calore.**

Capo II. — **Termometri.**

Capo III. — Coefficienti di dilatazione.

Capo IV. — Densità dei gas e dei vapori.

Capo V. — Passaggio d'un corpo dallo stato solido al liquido e viceversa.

Capo VI. — Passaggio d'un corpo dallo stato liquido al gasoso e viceversa.

Capo VII. — Tensione dei vapori.

Capo VIII. — Nozioni sulle macchine a vapore.

Capo IX. — Igrometria.

Capo X. — Calorimetria.

Capo XI. — Calorico prodotto dalla combustione.

Capo XII. — Teoria dinamica del calore.

Capo XIII. — Temperatura degli animali.

CAPO XIV. — **Sorgenti del calore animale.**

CAPO XV. — **Dissoluzione dei gas nei liquidi.**

CAPO XVI. — **Macchinismo della respirazione.**

CAPO XVII. — **Cause del raffreddamento degli animali.**

CAPO XVIII. — **Metodi di riscaldamento e di ventilazione.**

CAPO XIX. — **Conduttricità dei corpi per il calorico.**

CAPO XX. — **Leggi dell'irraggiamento del calore.**

CAPO XXI. — **Potere emissivo riflettente ed assorbente dei corpi pel calorico.**

Capo XXII. — **Trasmissione del calore raggiante.**

Capo XXIII. — **Nozioni di meteorologia.**

OTTICA

Capo I. — **Propagazione della luce.**

Capo II. — **Riflessione della luce.**

Capo III. — **Leggi della rifrazione della luce.**

Capo IV. — **Delle lenti.**

Capo XI. — Interferenze della luce.

Capo XII. — Doppia rifrazione.

Capo XIII. — Polarizzazione della luce.

Capo XIV. — Fluorescenza e fosforescenza.

Tav. 1.a

Fig. 1.a

Fig. 2.a

Fig. 3.a

Fig. 4.a

Fig. 5.a

Fig. 6.a

Fig. 7.a

Fig. 8.a

Fig. 9.a

Fig. 10.

Fig. 11.a

Fig. 12.

Fig. 13.a

Tav. 2ª

Fig. 14ª

Fig. 15ª

Fig. 16ª (a)

Fig. 16ª (b)

Fig. 16ª (c)

Fig. 17ª

Fig. 18ª

Fig. 19ª

Fig. 20ª

Fig. 21ª

Fig. 22ª

Tav. 3.ª

Fig. 23.ª

Fig. 24.

Fig. 25.

Fig. 26.

Fig. 27.ª

Fig. 28.ª

Fig. 29.

Fig. 30.ª

Fig. 31.ª

Fig. 32.ª

Fig. 33.ª

Tav. 4.ª

Fig. 34.ª

Fig. 35.ª

Fig. 36.ª

Fig. 37.ª

Fig. 38.ª

Fig. 39.ª

Fig. 40.ª

Fig. 41.ª

Fig. 42.ª

Fig. 43.ª

Tav. 5.a

Fig. 45.a

Fig. 47.a

Fig. 44.a

Fig. 48.a

Fig. 46.a

Fig. 50 (a)

Fig. 49.a

Fig. 50 (b)

Fig. 50 (c)

Fig. 51.a

Fig. 50 (d)

Fig. 50 (e)

Tav. 6ª

Fig. 52ª

Fig. 53ª

Fig. 54ª

Fig. 55ª

Fig. 56ª

Fig. 59ª

Fig. 60ª

Fig. 58ª

Fig. 61ª

Fig. 57ª

Fig. 62.ª

Fig. 63.ª

Fig. 64.ª

Fig. 65.ª

Fig. 66.ª

Fig. 67

Fig. 68.ª

Fig. 69.ª

Fig. 70.ª

Fig. 71.ª

Fig. 72.ª

Tav 8ª

Fig. 73ª

Fig. 74ª

Fig. 78ª

Fig. 75ª

Fig. 76ª

Fig. 79ª

Fig. 80ª

Fig. 81ª

Fig. 77ª

Fig. 82ª

Fig. 83ª

Tav. 9.a

Fig. 84.a

Fig. 85.a

Fig. 86.a

Fig. 87.a

Fig. 88.a

Fig. 89.a

Fig. 90.a

Fig. 91.a

Fig. 92.a

Fig. 93.a

Fig. 94.a

Tav 10.ª

Fig 95.ª

Fig 96.ª

Fig 97.ª

Fig 98.ª

Fig 99.ª

Fig 100.ª

Fig 101.ª

Fig 102

Fig 103.ª

Fig 104

Fig 105.ª

Fig 106.ª

Tav. II.a

Fig. 107.a

Fig. 108.a

Fig. 109.a

Fig. 110.a

Fig. 111.a

Fig. 112.a

Fig. 113

Fig. 114.a

Fig. 115

Fig. 116.a

Fig. 117.a

Fig. 118.a

Tav.ª 12.ª

Fig.ª 119.ª

Fig.ª 120.ª

Fig.ª 121.ª

Fig.ª 122.ª

Fig.ª 123.ª

Fig.ª 124.ª

Fig.ª 125.ª

Fig.ª 126.ª

Fig.ª 127.ª

Fig.ª 130.ª

Fig.ª 128.ª

Fig.ª 129.ª

Tavª 13ª

Figª 131ª

Figª 132ª

Figª 133ª

Figª 134ª

Figª 135ª

Figª 136ª

Figª 137ª

Figª 138ª

Figª 139ª

Figª 140ª

Figª 140 bis

Tav.^a 14.^a

Fig.^a 141.^a

Fig.^a 142.^a

Fig.^a 143.^a

Fig.^a 144.^a

Fig.^a 145.^a

Fig.^a 146.^a

Fig.^a 147.^a

Fig.^a 148.^a

Fig.^a 148.^a bis.

Fig.^a 149.^a

Fig.^a 150.^a

Fig.^a 151.^a

Tav.ª 15.ª

Fig.ª 152.ª

Fig.ª 153.ª

Fig.ª 155.ª

Fig.ª 154.ª

Fig.ª 156.ª

Fig.ª 159.ª

Fig.ª 157.ª

Fig.ª 158.ª

Fig.ª 160.ª

Tav.a 16.a

Fig.a 161.a

Fig.a 162.a

Fig.a 163.a

Fig.a 165.a

Fig.a 164.a

Fig.a 168.a

Fig.a 166.a

Fig.a 167.a

Tav.ª 17.ª

Fig.ª 169.ª

Fig.ª 170.ª

Fig.ª 171.ª

Fig.ª 172.ª

Fig.ª 173.ª

Fig.ª 174.ª

Fig.ª 175.ª

Fig.ª 176.ª

Fig.ª 177.ª

Tav.a 18.a

Fig.a 178.

Fig.a 179.

Fig.a 181.a

Fig.a 180.a

Fig.a 182.a

Fig.a 183.a

Fig.a 184.a

Tav. 19ª

Figª 185ª

Figª 186ª

Figª 187ª

Figª 187ª bis.

Figª 188ª

Figª 189ª

Figª 190ª

Figª 191ª

Figª 192ª

Figª 193ª

Tav.ª 20.ª

Fig.ª 194.ª

Fig.ª 195.ª

Fig.ª 196.ª

Fig.ª 197.ª

Fig.ª 198.ª

Fig.ª 199.ª

Fig.ª 200.ª

Tav.a 21

Fig.a 201.a

Fig.a 202

Fig.a 203.a

Fig.a 204.a

Fig.a 205.a

Fig.a 206.a

Fig.a 207.a

Fig.a 208.a

Fig.a 209.a

Fig.a 210.a

Tav.ª 22.ª

Fig.ª 211.

Fig.ª 212.ª

Fig.ª 213.ª

Fig.ª 214.ª

Fig.ª 215.ª

Fig.ª 216.ª

Fig.ª 217.ª

Fig.ª 218.ª

Fig.ª 219.ª

Fig.ª 220.ª

Fig.ª 221.ª

Tav. 23ª

Figª 223ª

Figª 224ª

Figª 222ª

Figª 226ª

Figª 227ª

Figª 225ª

Figª 228ª

Figª 230

(a)

Figª 229ª

(b)

Tav.ª 24.

Fig.ª 231

Fig.ª 232.ª

Fig.ª 233.ª

Fig.ª 234.ª

Fig.ª 235.ª

Fig.ª 236.ª

Fig.ª 237.ª

Fig.ª 238.ª

Fig.ª 239.ª

Fig.ª 240.ª

Tav.a 25.a

Fig.a 241.a

Fig.a 242

Fig.a 243.

Fig.a 244.a

Fig.a 245.a

Fig.a 246.a

Fig.a 247

Fig.a 248.

Fig.a 249.a

Tav. 26.

Fig. 250.

Fig. 251.

Fig. 252.

Fig. 253.

Fig. 254.

Fig. 255.

Fig. 256.

Fig. 257.

Fig. 258.

Tav 27ª

Figª 259ª

Figª 260ª

Figª 261ª

Figª 262ª

Figª 263ª

Figª 264ª

Figª 265ª

Figª 266ª

Figª 267

Figª 268ª

Figª 269ª

Figª 270ª

Figª 271ª

Tav.ª 28.ª

Fig.ª 272.ª

Fig.ª 273.ª

Fig.ª 274.ª

Fig.ª 275.ª

Fig.ª 276.ª

Fig.ª 277.ª

Fig.ª 278.ª

Fig.ª 279.ª

Fig.ª 281.ª

Fig.ª 280.ª

Fig.ª 282.ª

Tav.a 29.a

Fig.a 283

Fig.a 284.a

Fig.a 285.a

Fig.a 287.a

Fig.a 288.a

Fig.a 286.a

Fig.a 289.a

Fig.a 290.a

Tav.ª 30.ª

Fig.ª 291.ª

Fig.ª 292.ª

Fig.ª 293.ª

Fig.ª 294.ª

Fig.ª 295.ª

Fig.ª 296.ª

Fig.ª 297.ª

Fig.ª 298.ª

Fig.ª 299.ª

Fig.ª 300.ª

Fig.ª 301.ª

Fig.ª 302.ª

Fig.ª 303.ª

Tav. 31.

Fig. 304

Fig. 305.

Fig. 306

Fig. 307.

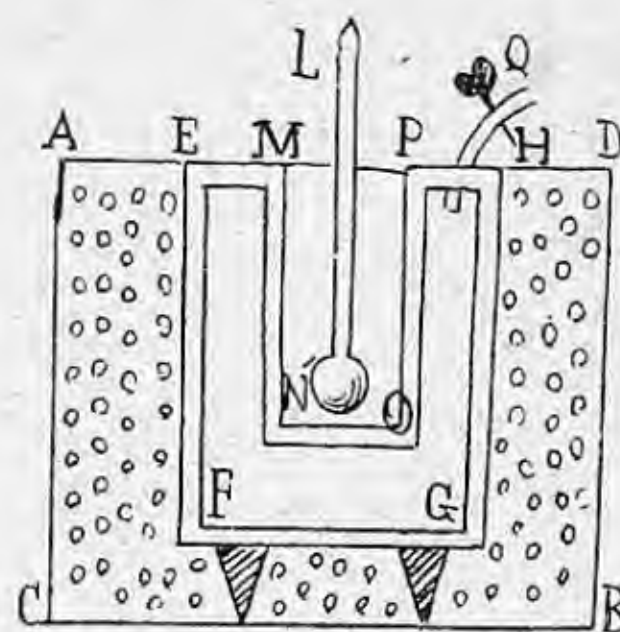
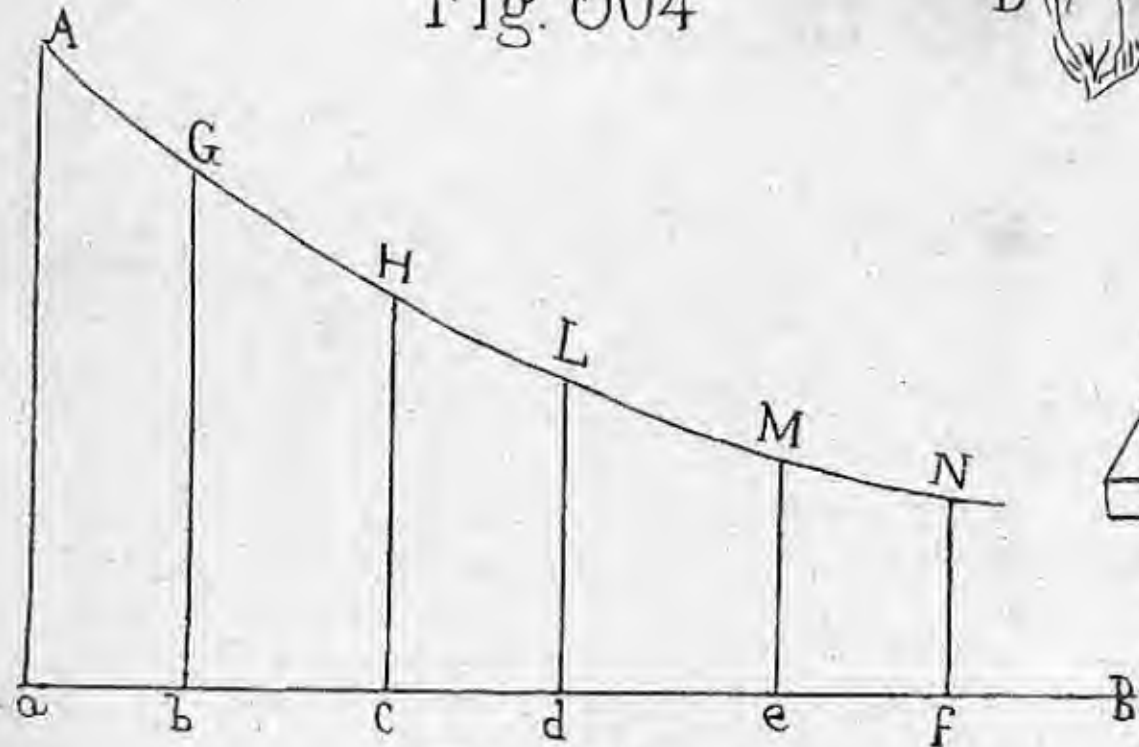
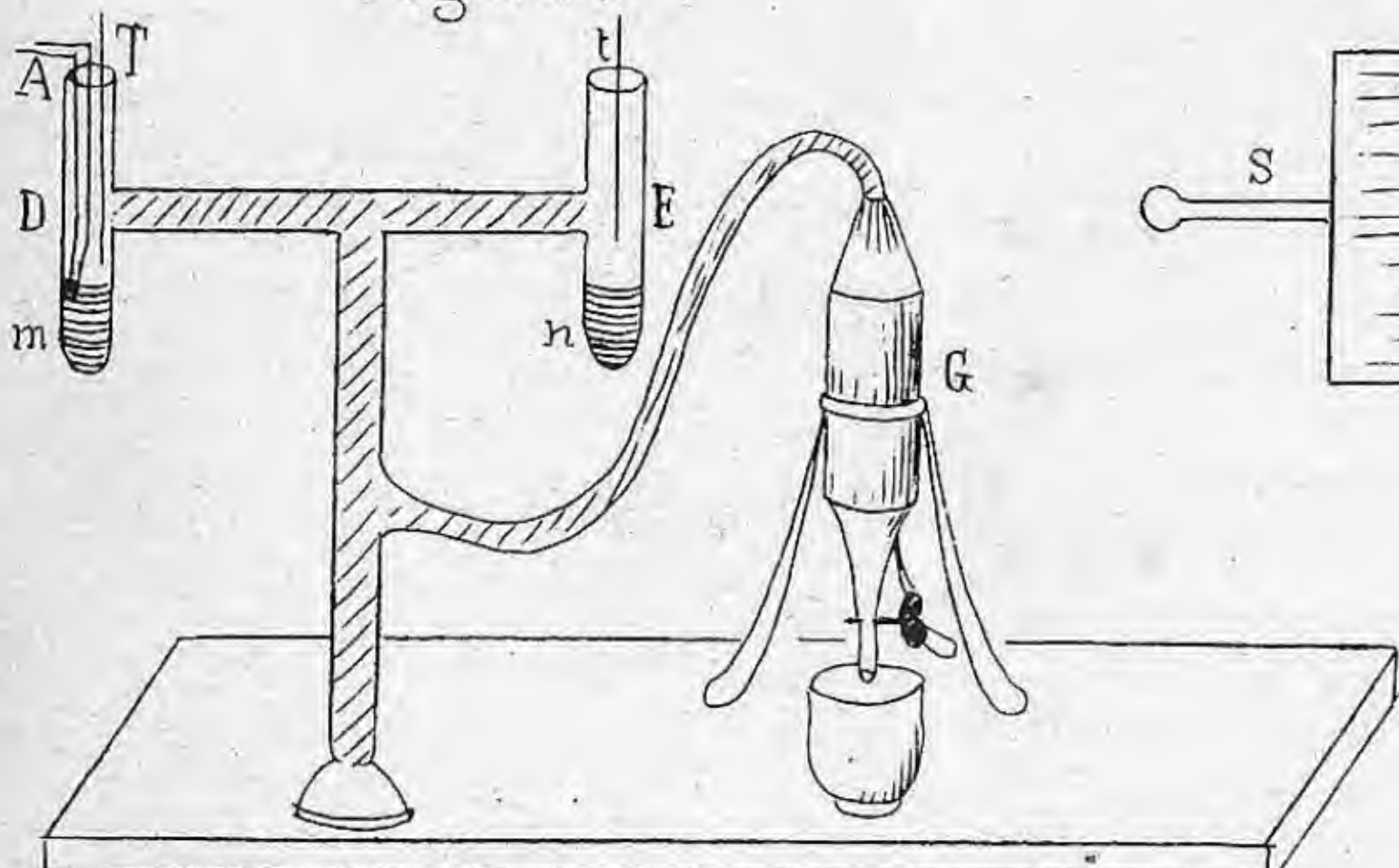



Fig. 308.

Fig. 309.

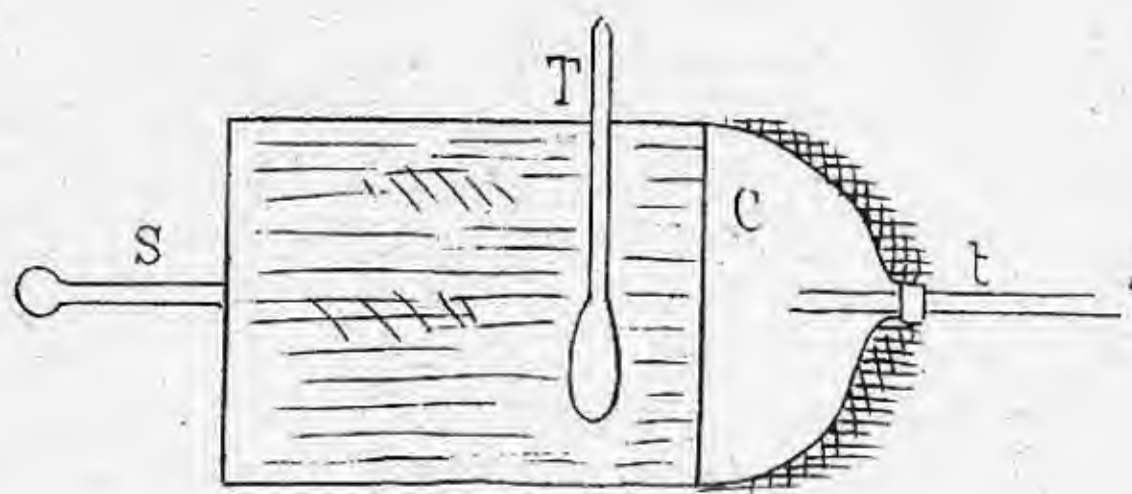



Fig. 310

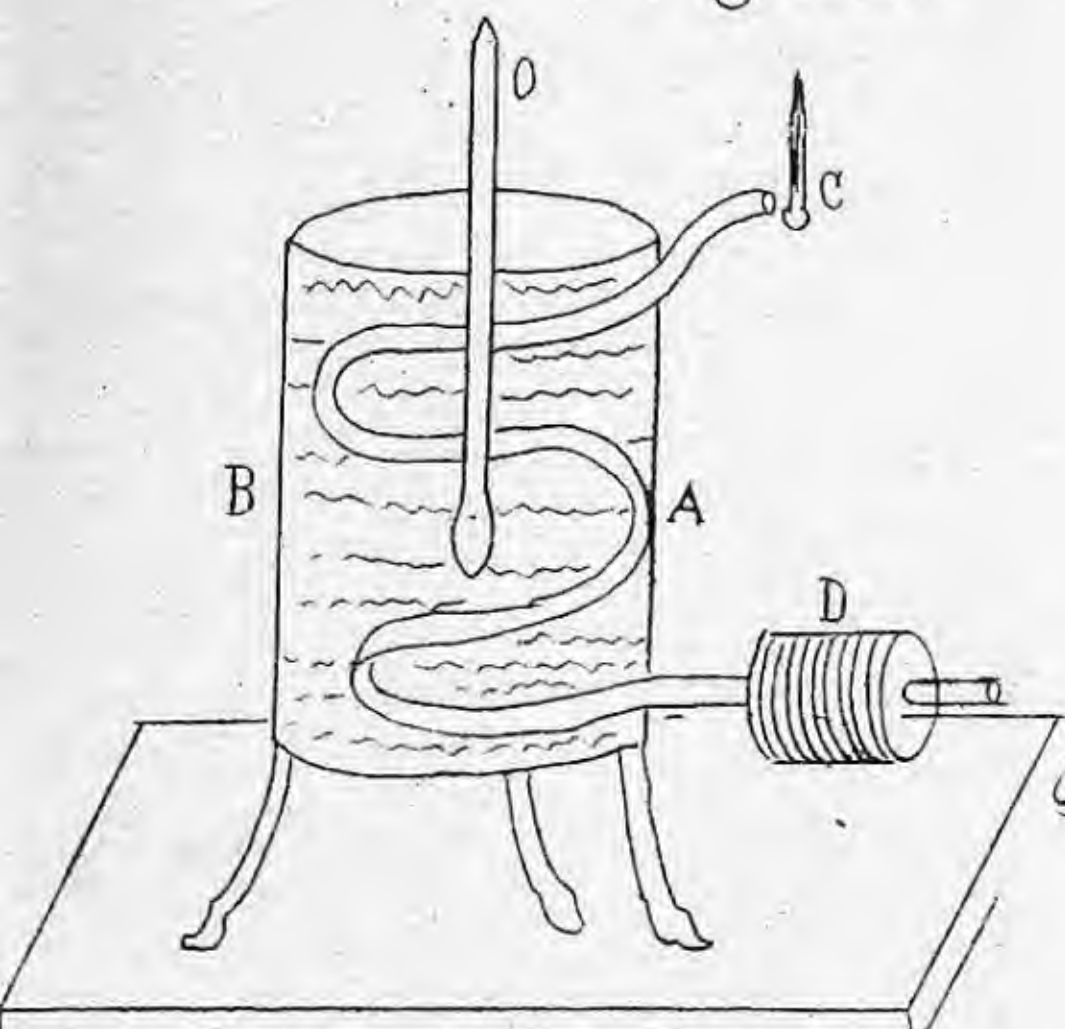



Fig. 311.

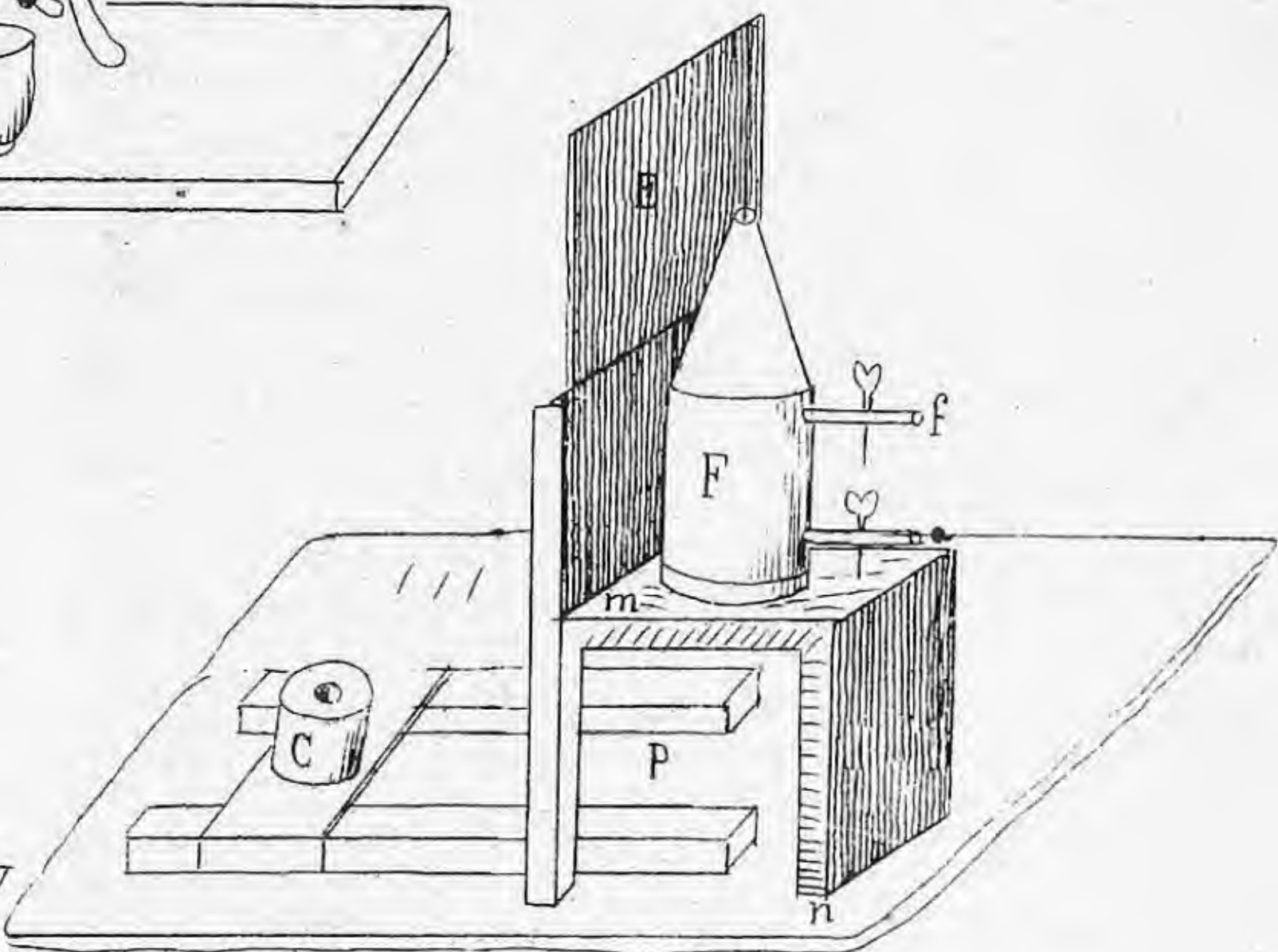



Fig. 312.

Fig. 313.

Tav. 32.

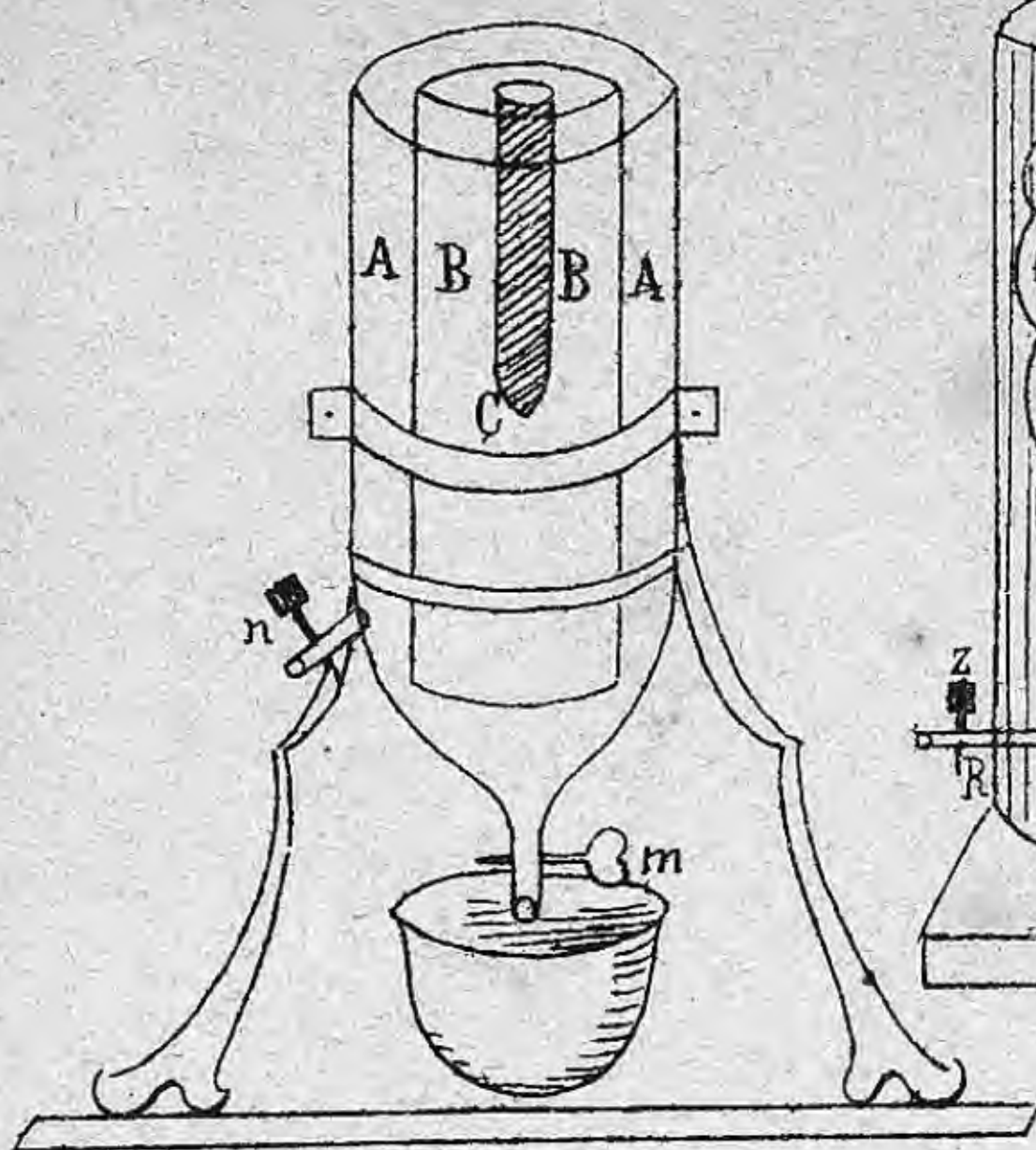
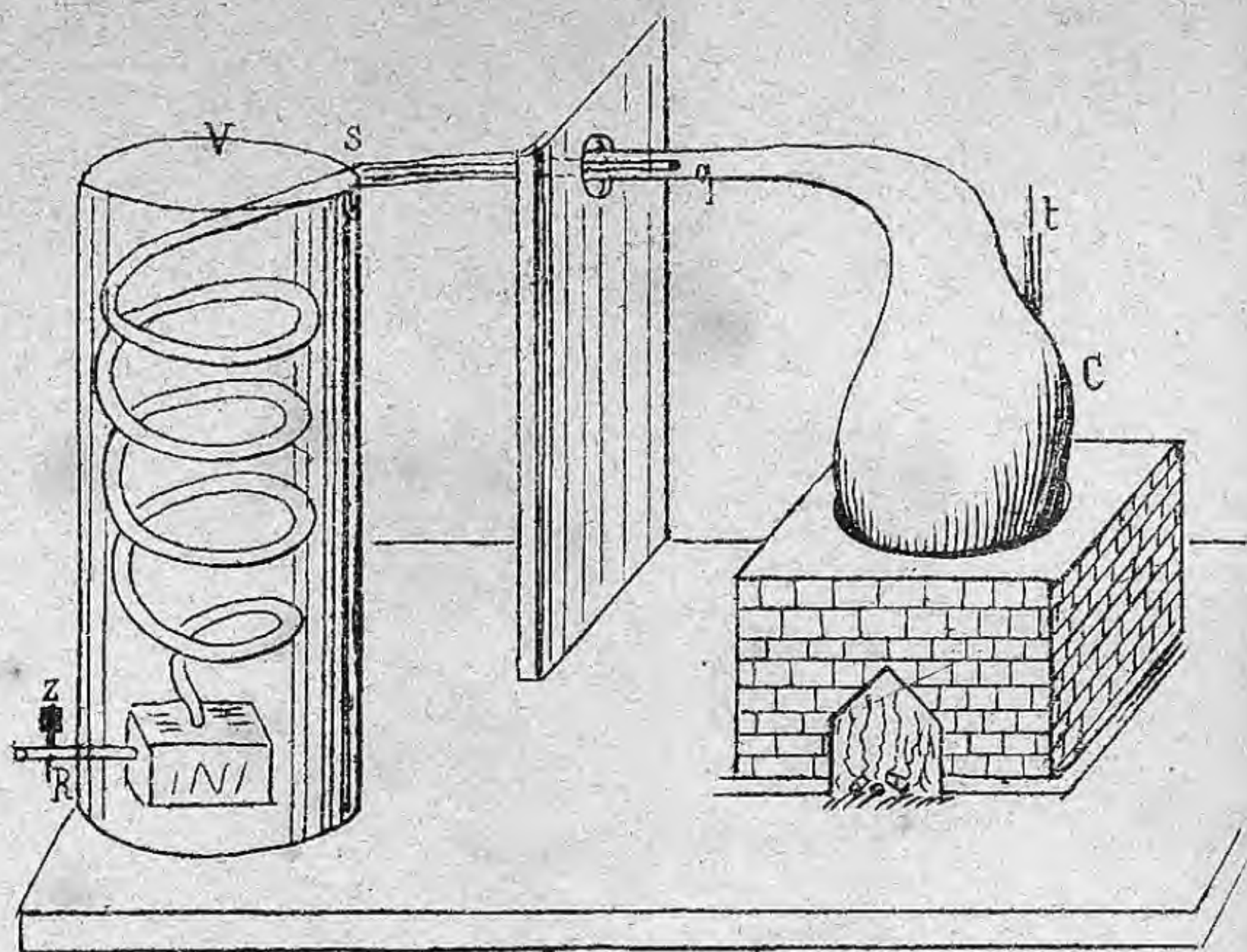
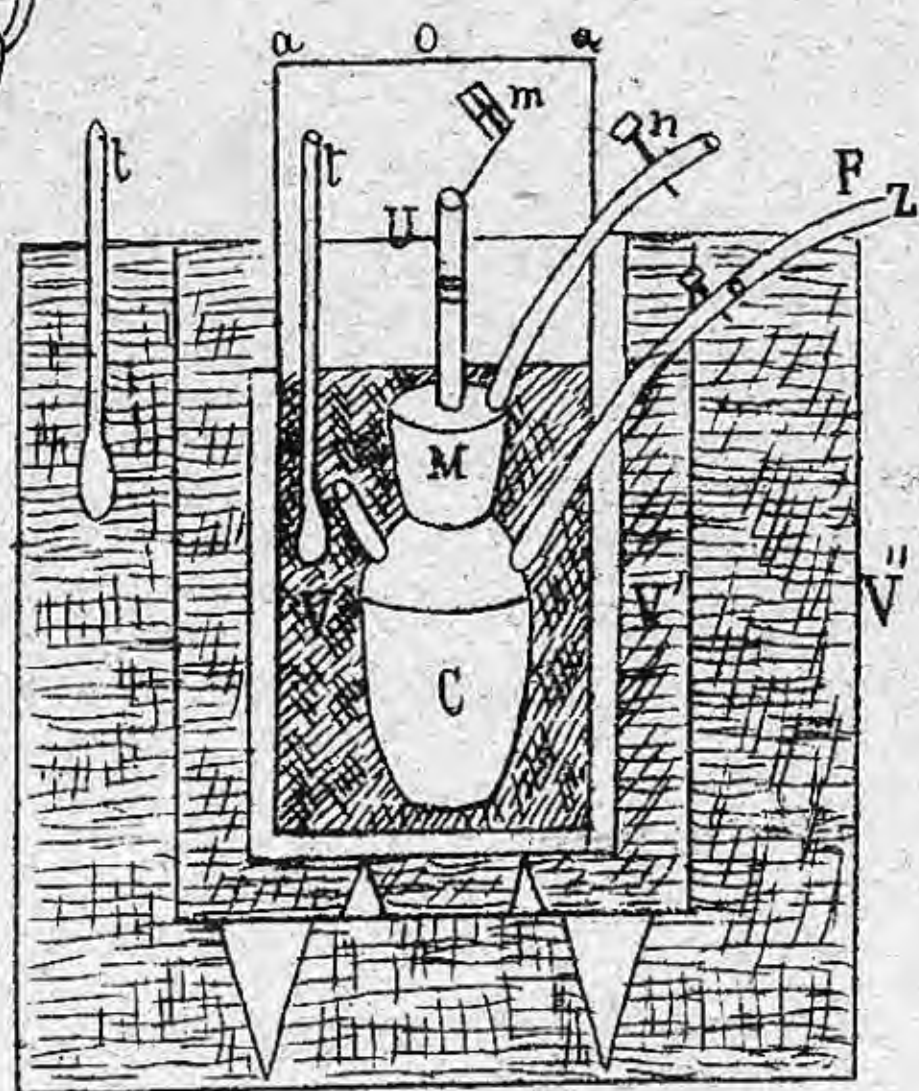



Fig. 314.

Fig. 315.

Fig. 316.

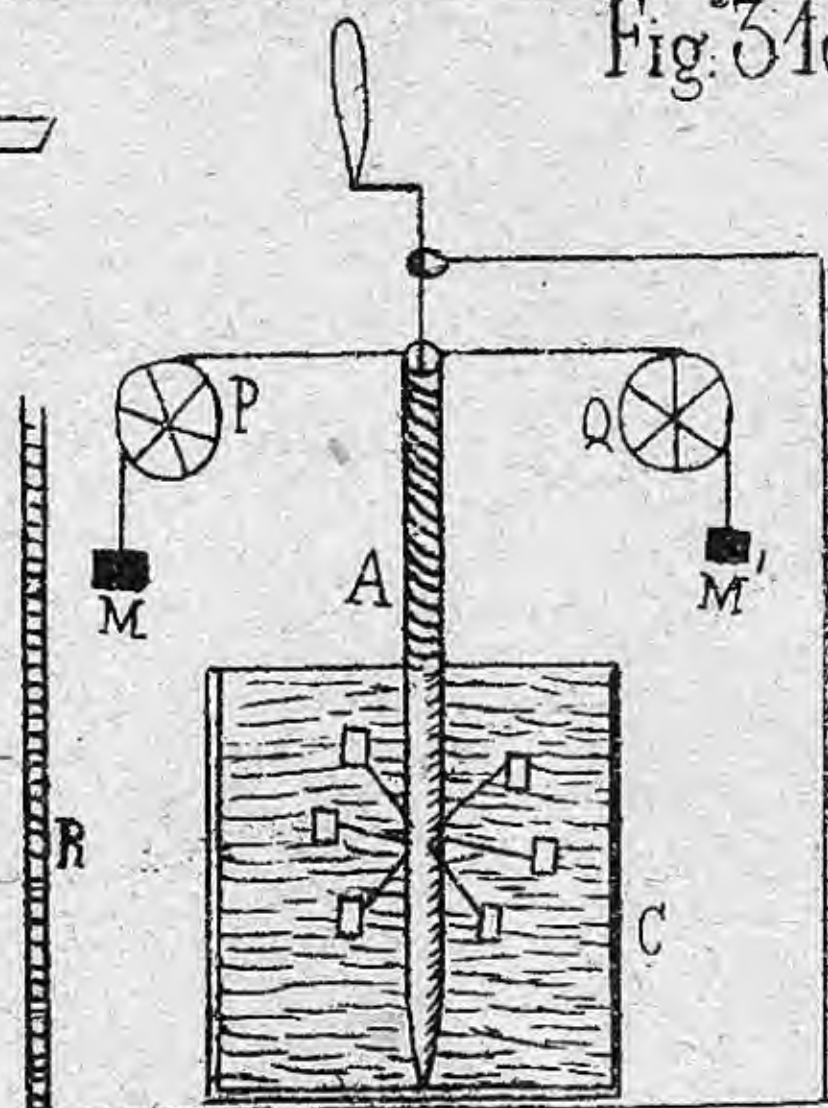



Fig. 317.

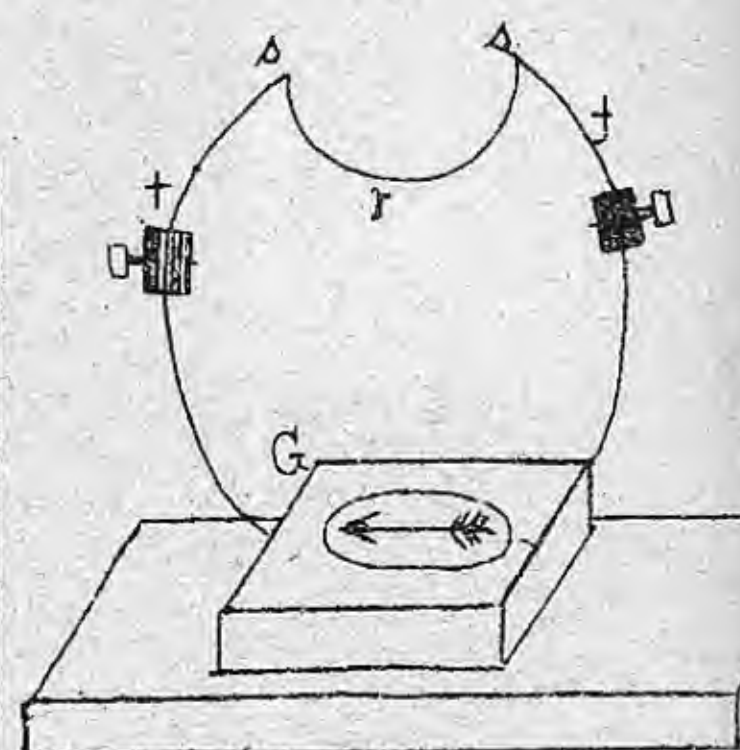



Fig. 318.

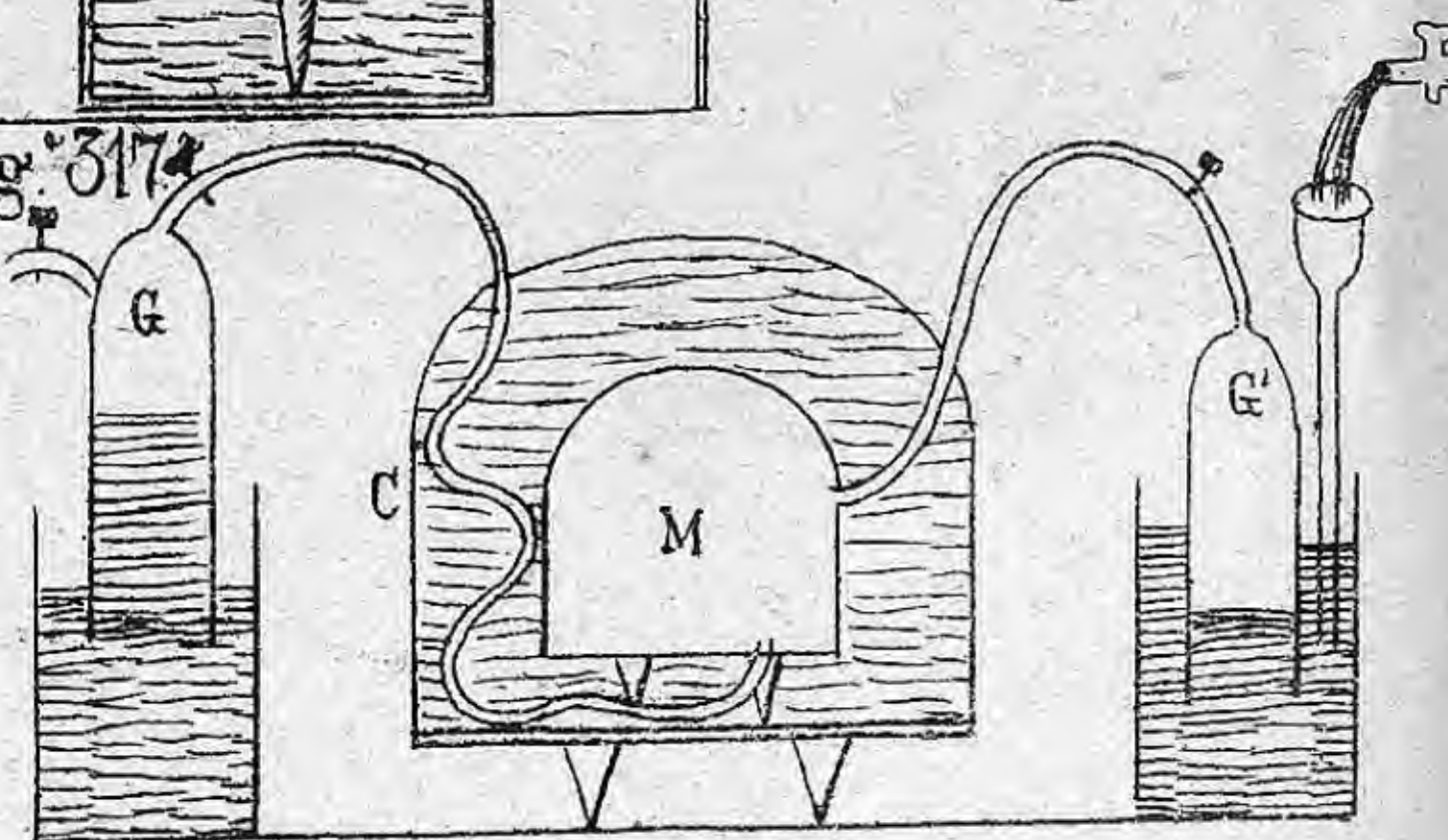



Fig. 319.

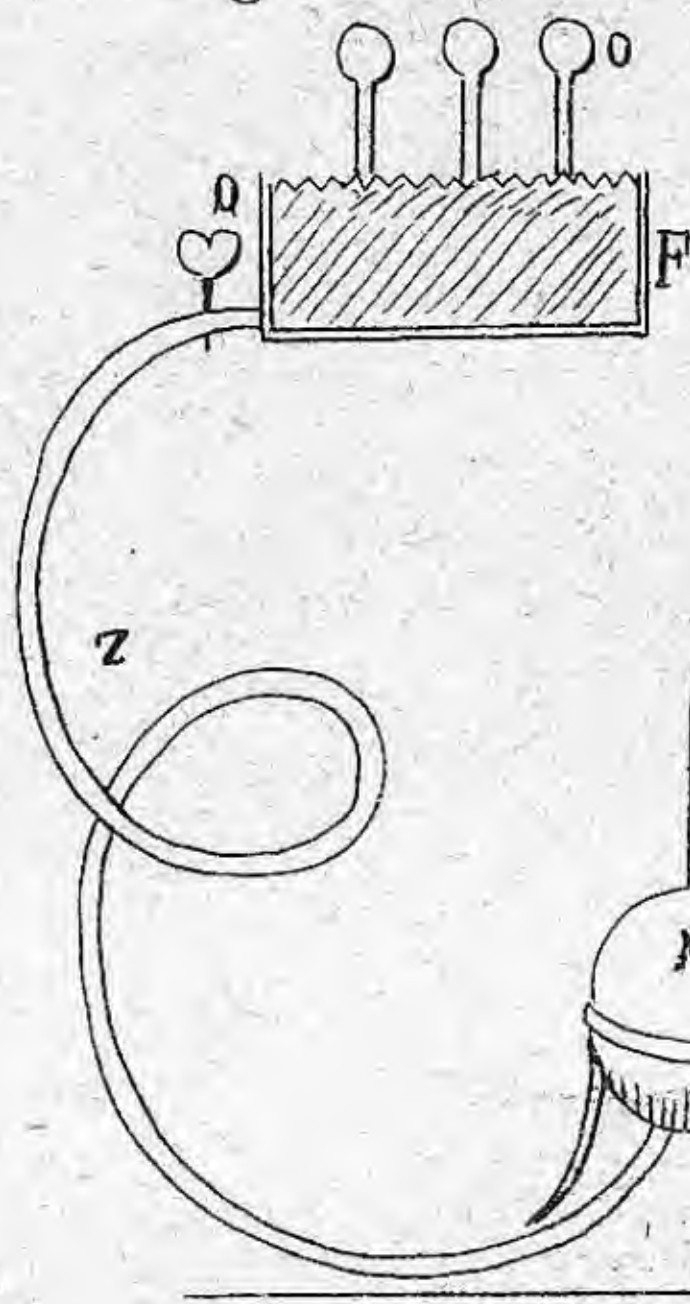



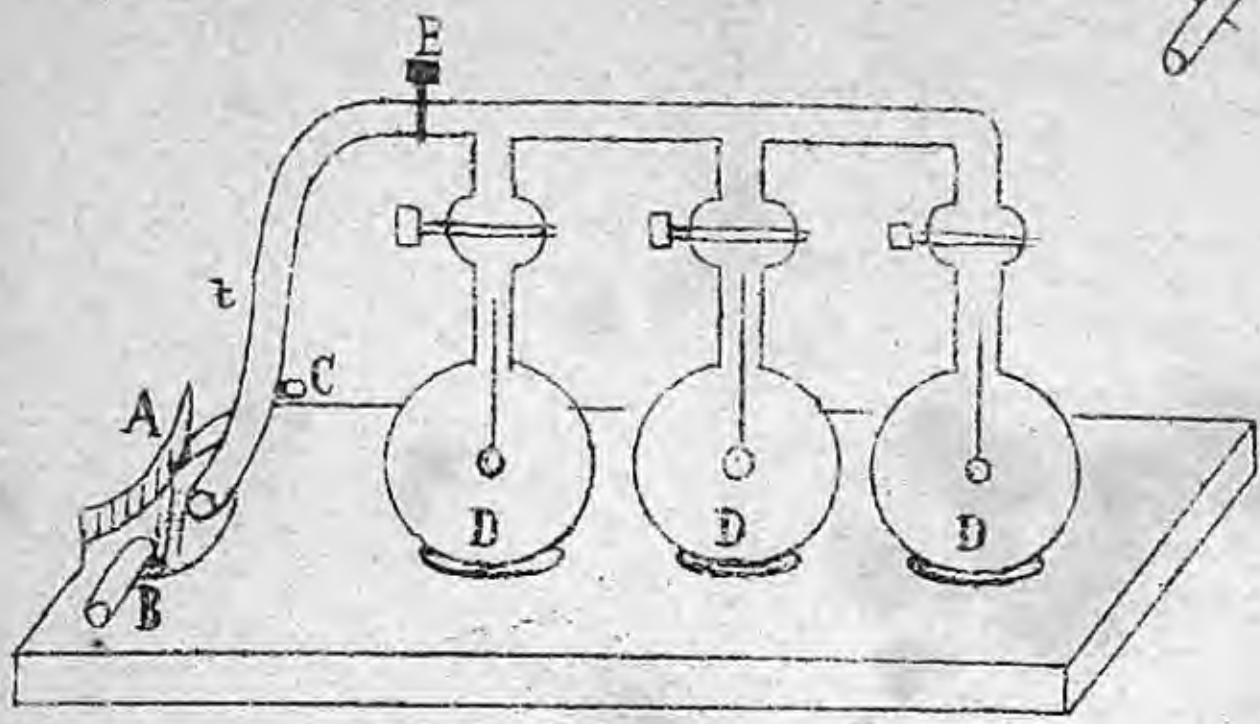
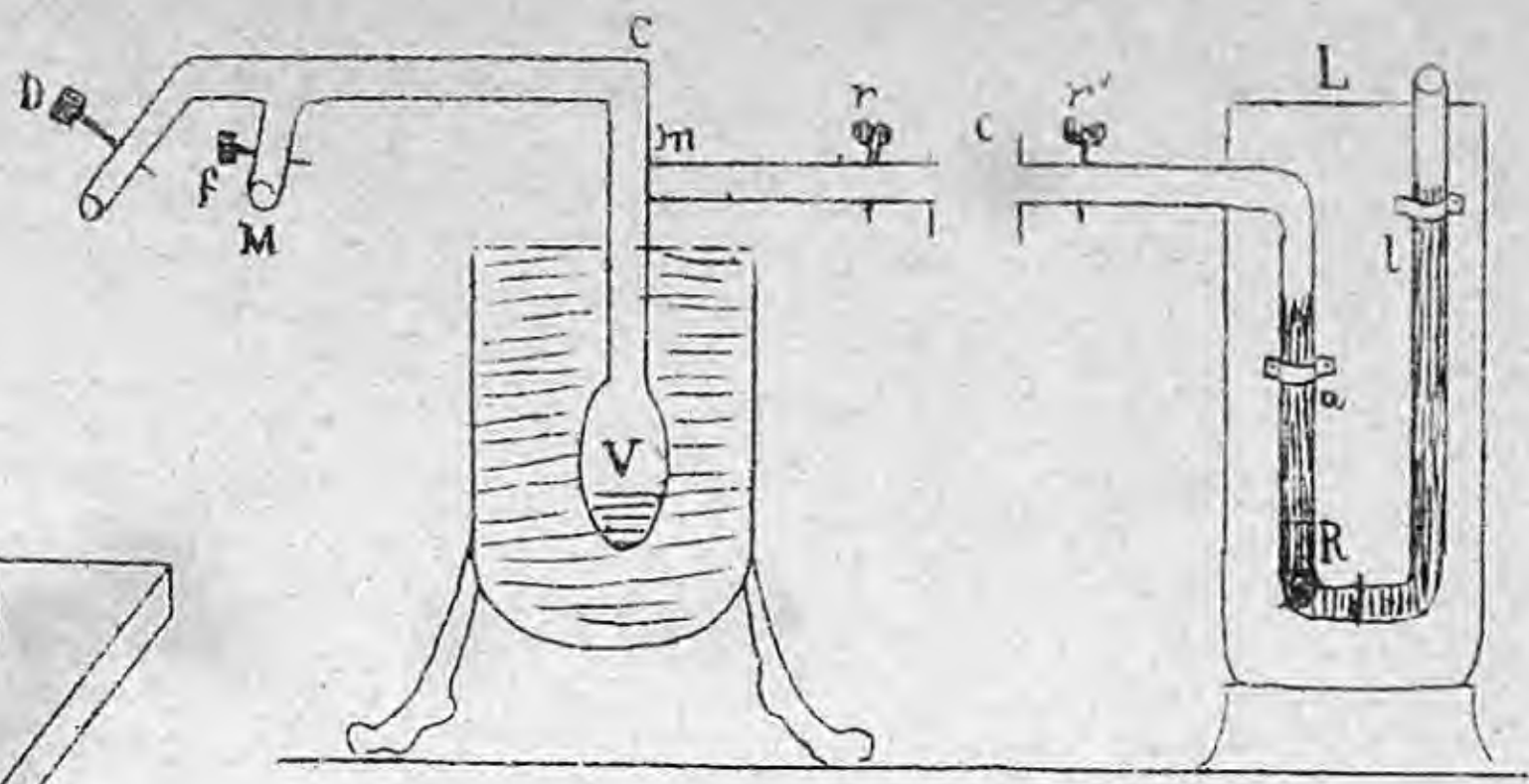
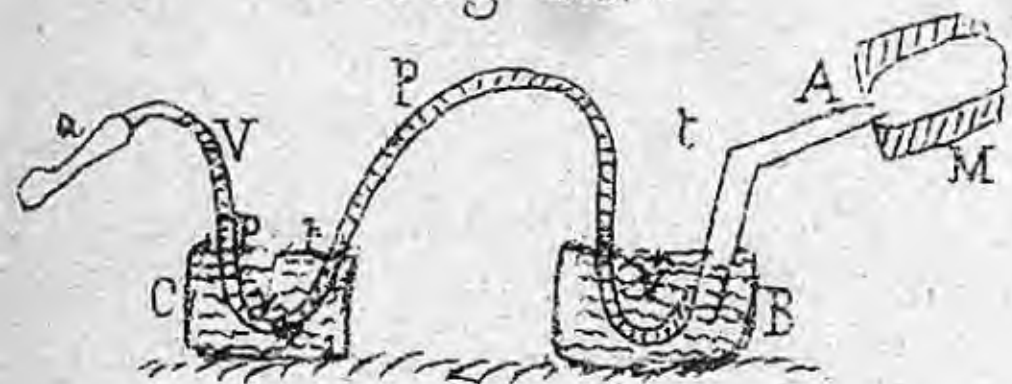
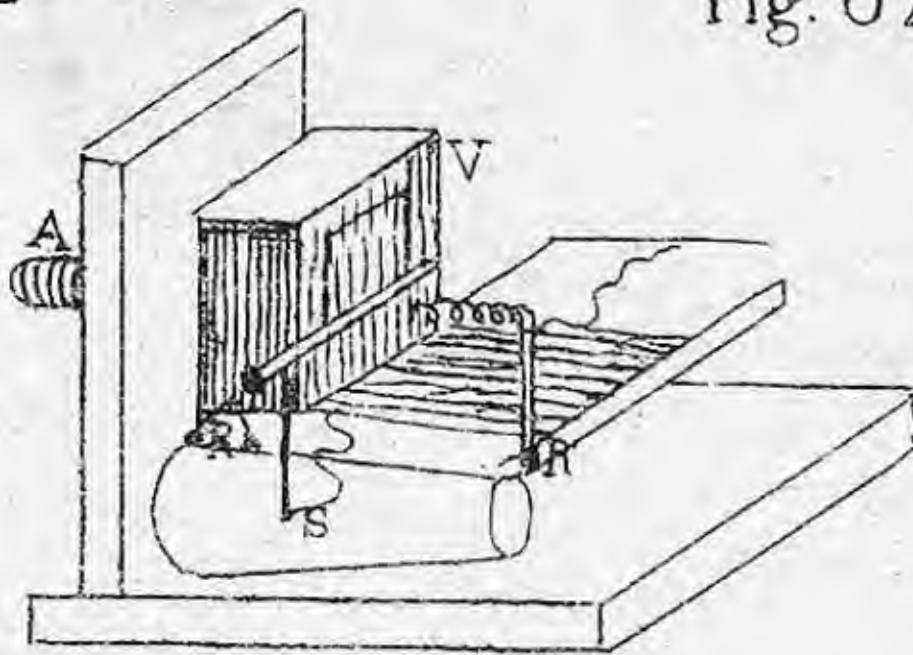
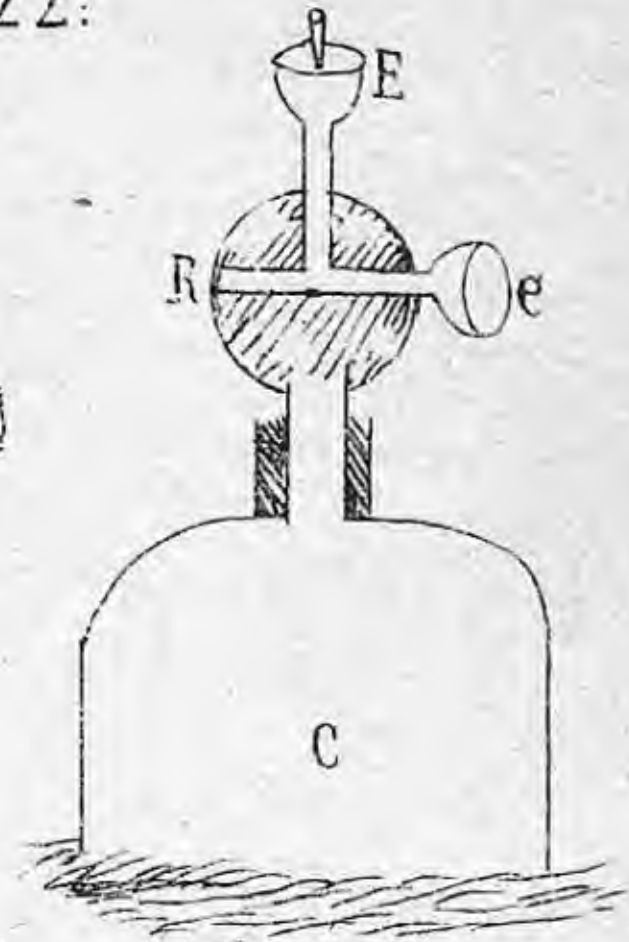
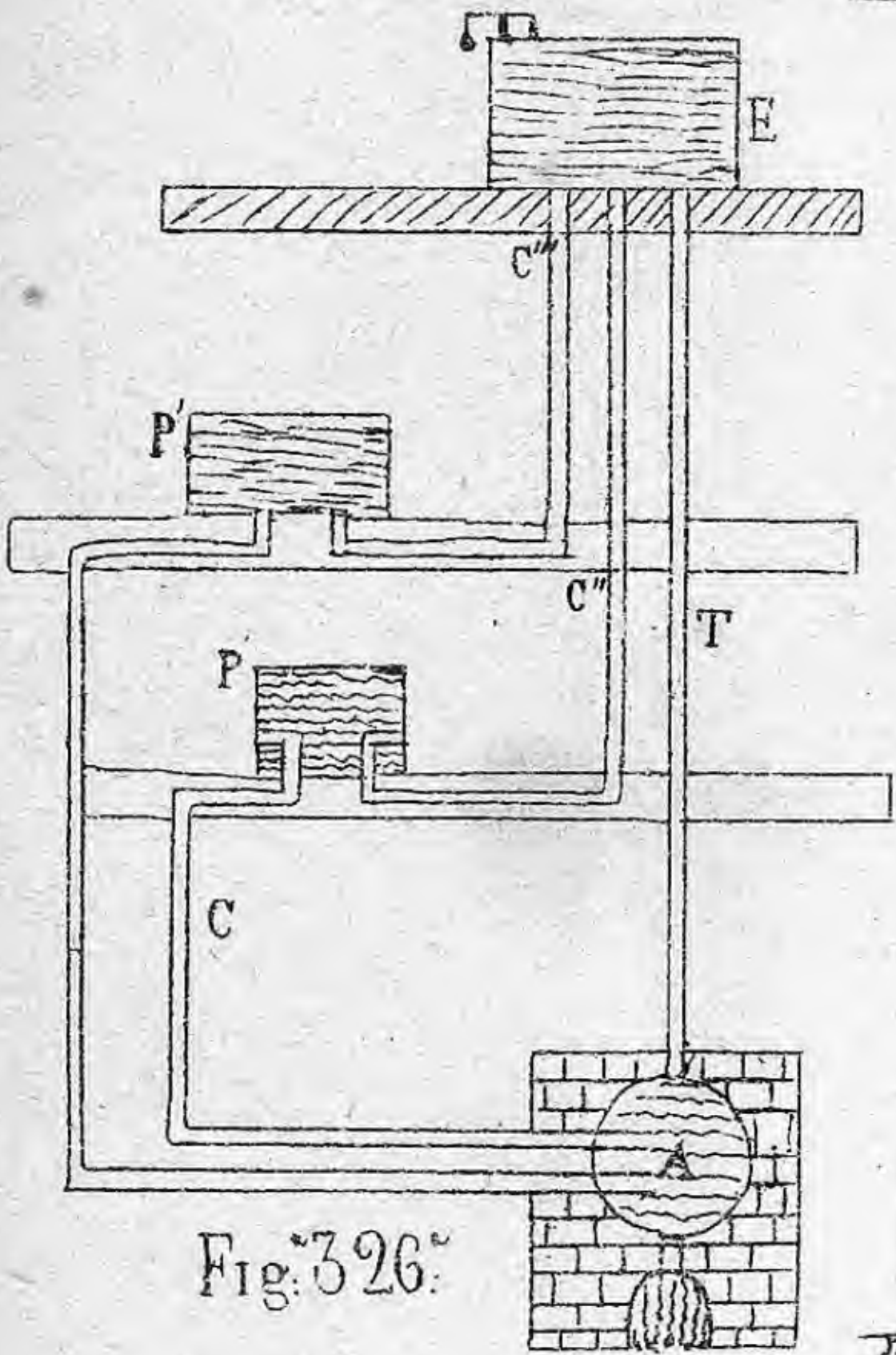
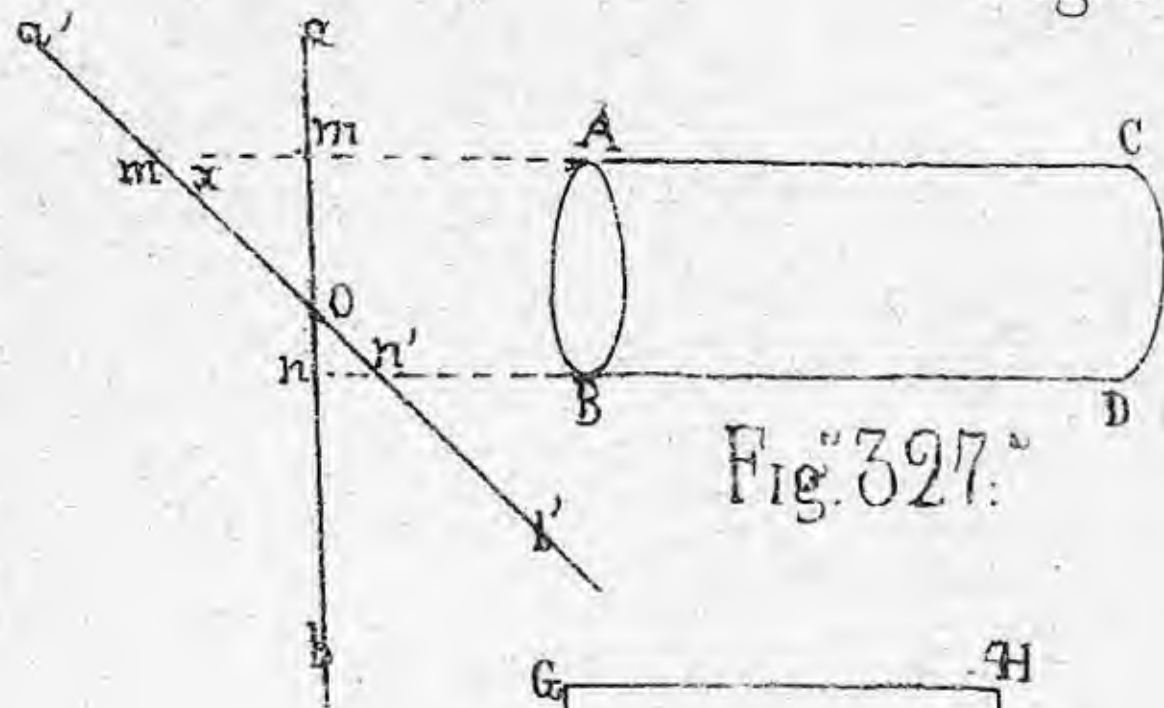
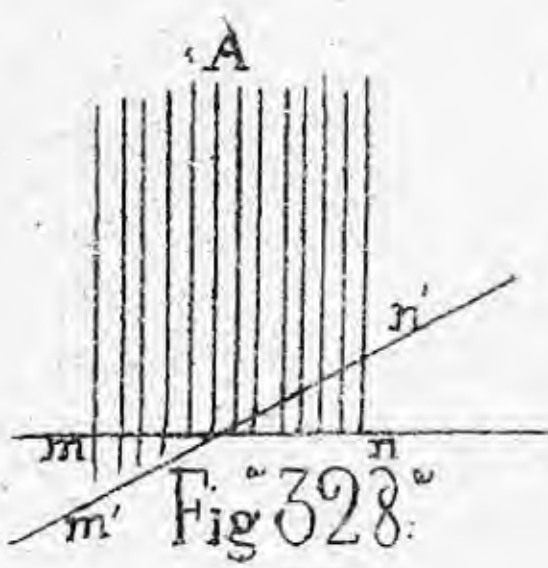
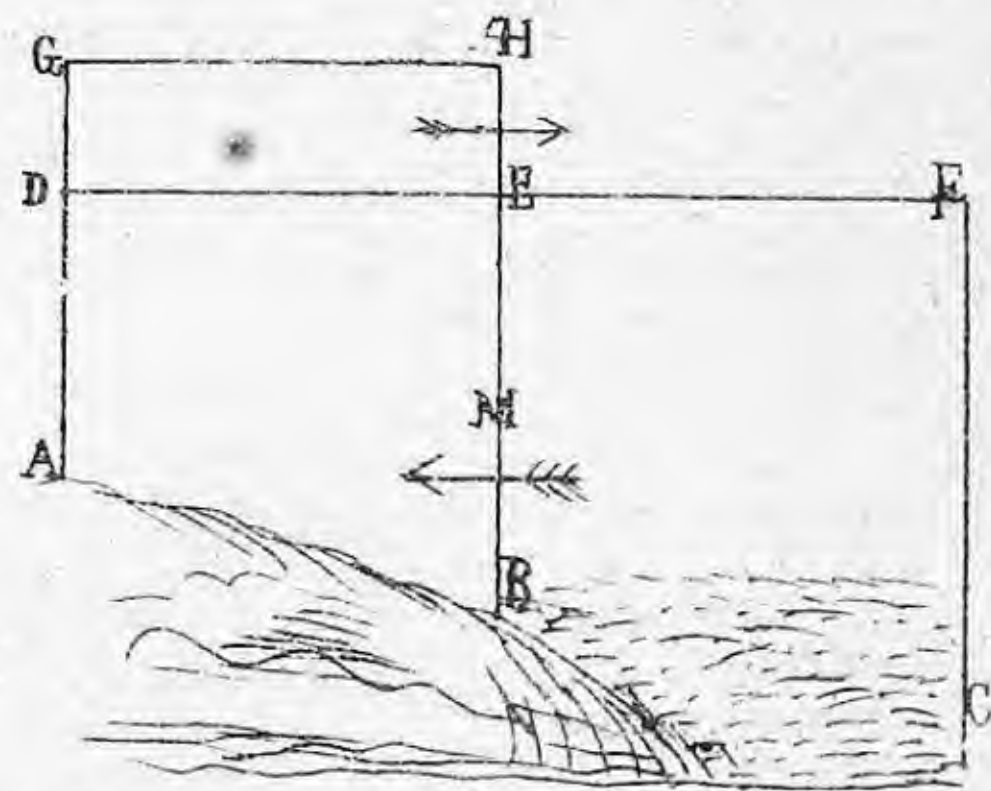
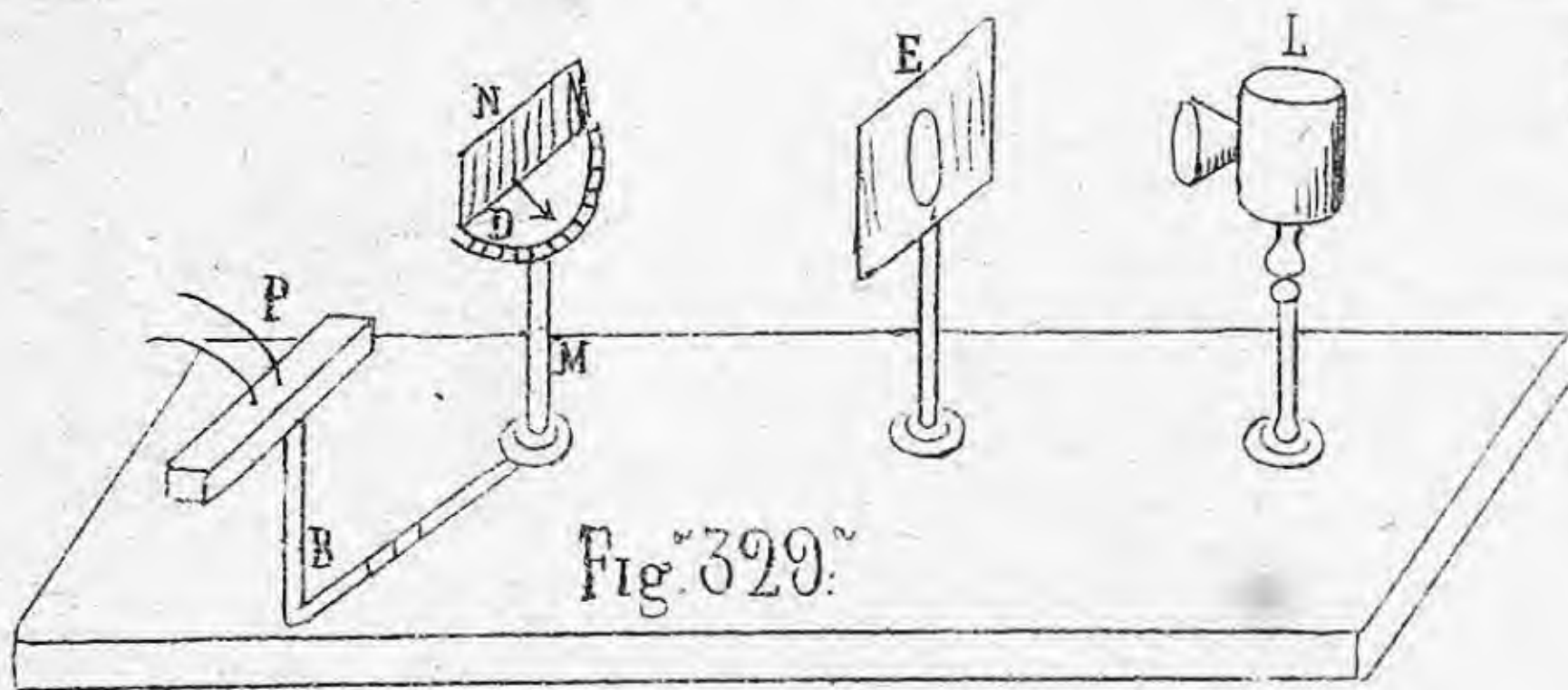
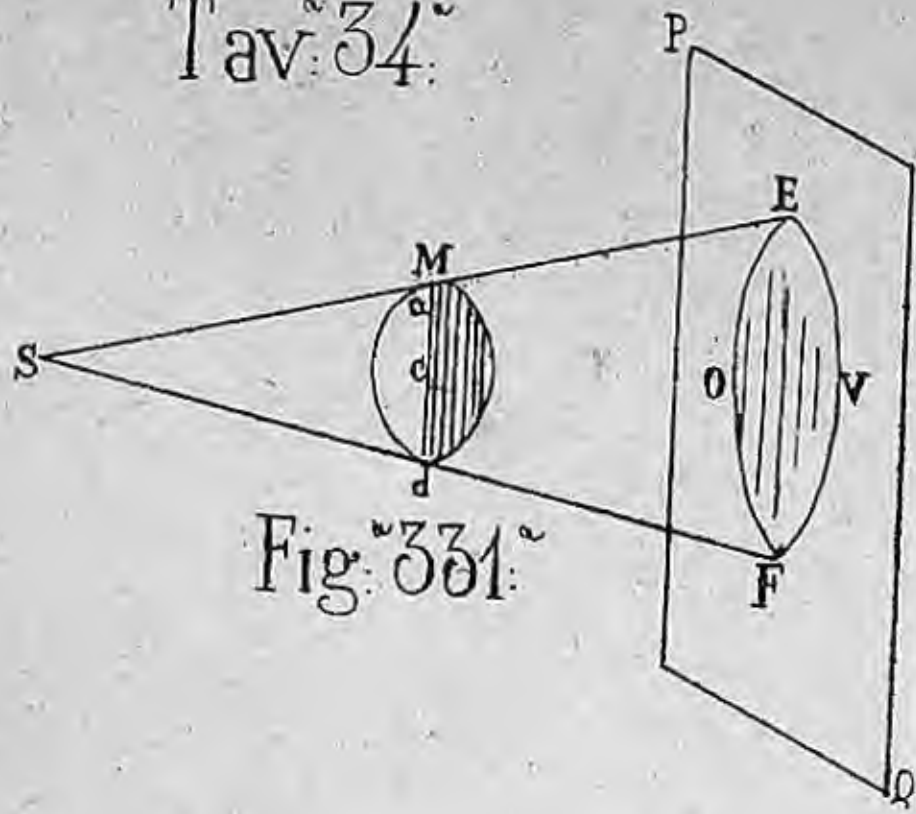
Fig. 320.

Tav.ª 33.ª

Fig.ª 321.ª

Fig.ª 322.ª

Fig.ª 323.ª

Fig.ª 324.ª

Fig.ª 325.ª

Fig.ª 326.ª

Fig.ª 327.ª

Fig.ª 328.ª

Fig.ª 330.ª

Fig.ª 329.ª

Tav.ª 34.ª

Fig.ª 331.ª

Fig.ª 332.ª

Fig.ª 333.ª

Fig.ª 334.ª

Fig.ª 335.ª

Fig.ª 336.ª

Fig.ª 337.ª

Fig.ª 338.ª

Fig.ª 339.ª

Fig.ª 340.ª

Fig.ª 341.ª

Fig.ª 342.ª

Tav. 35.

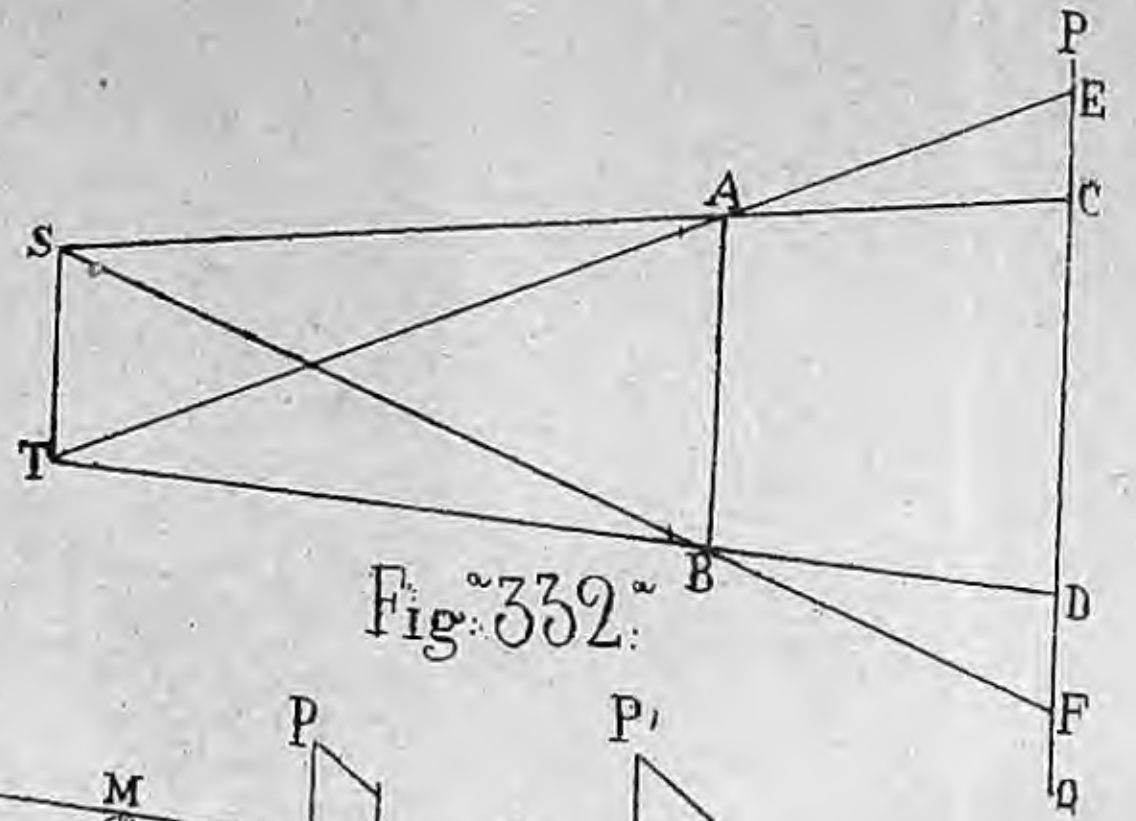
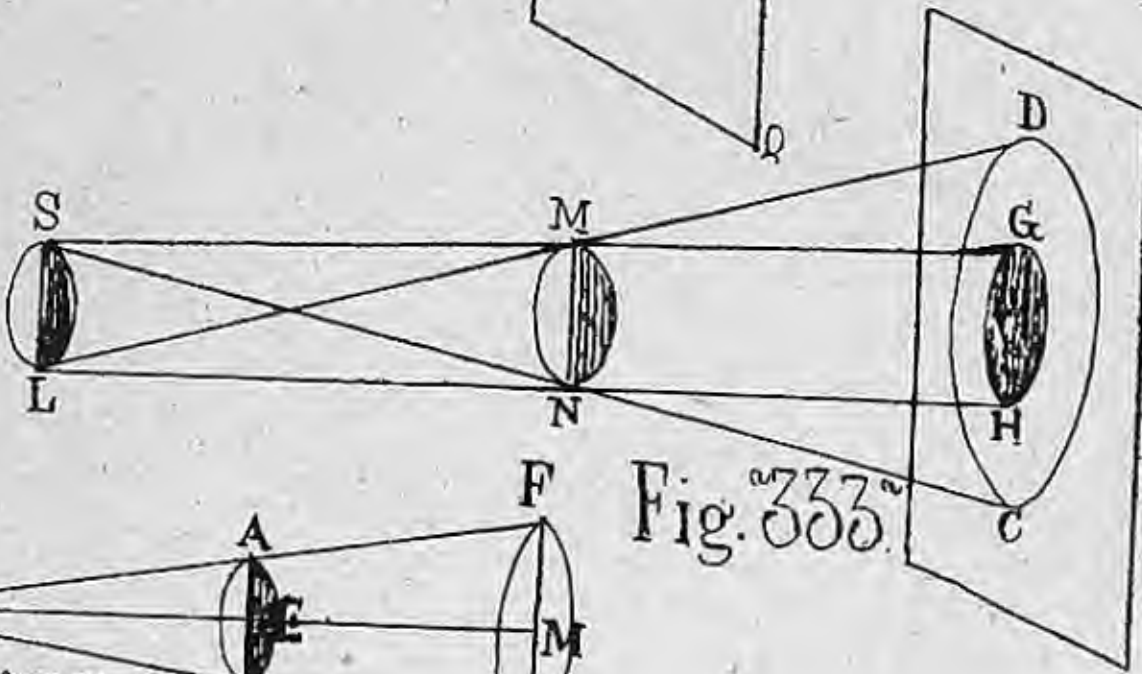
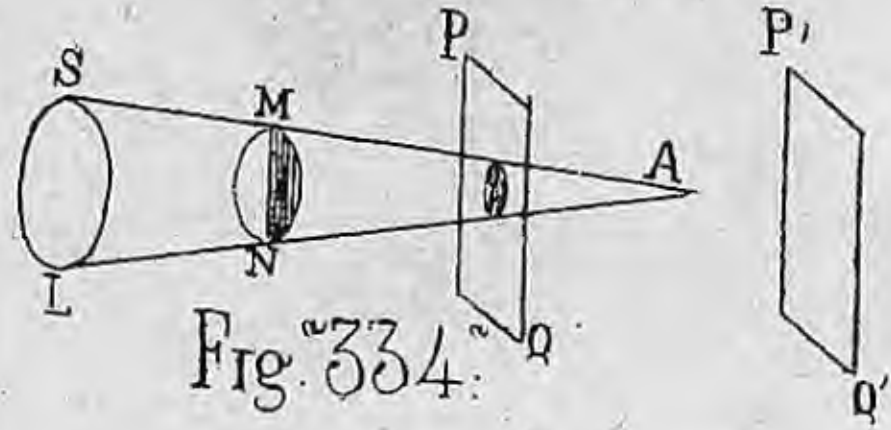
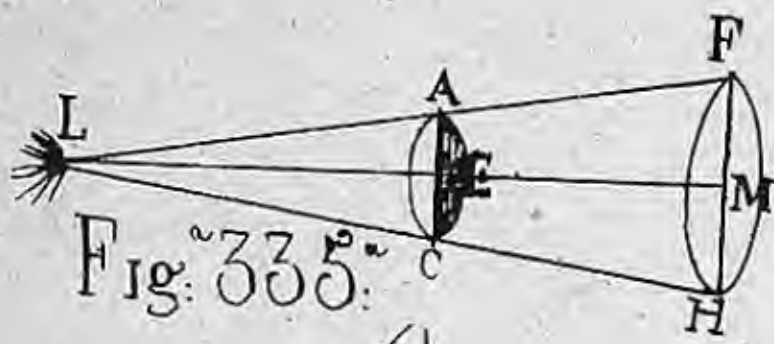
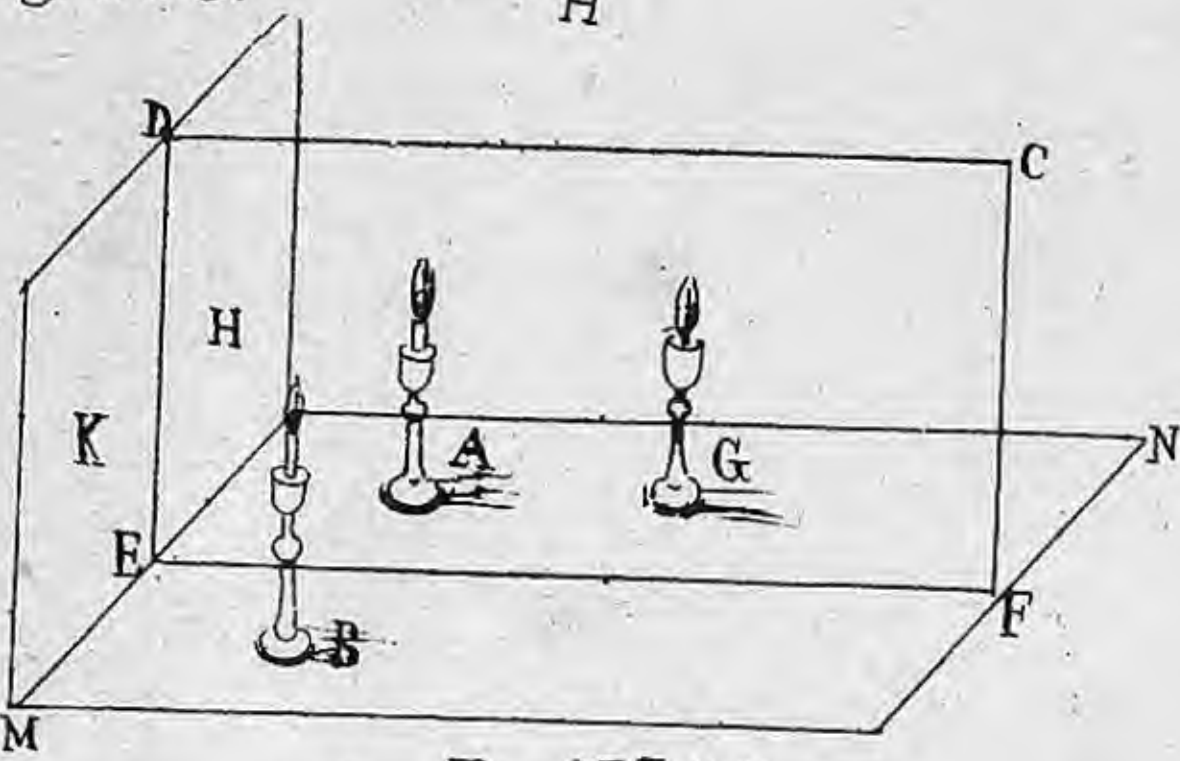
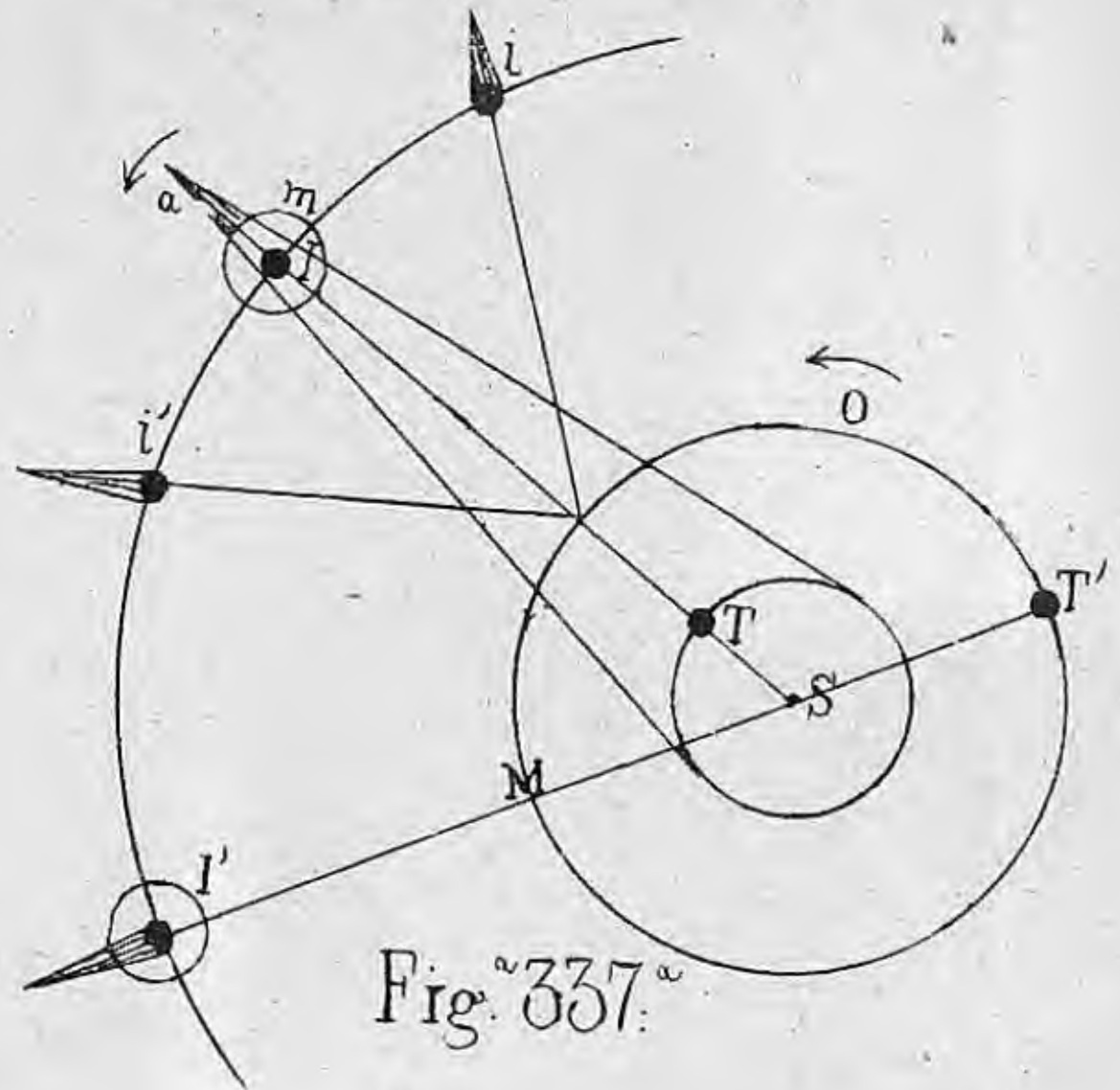
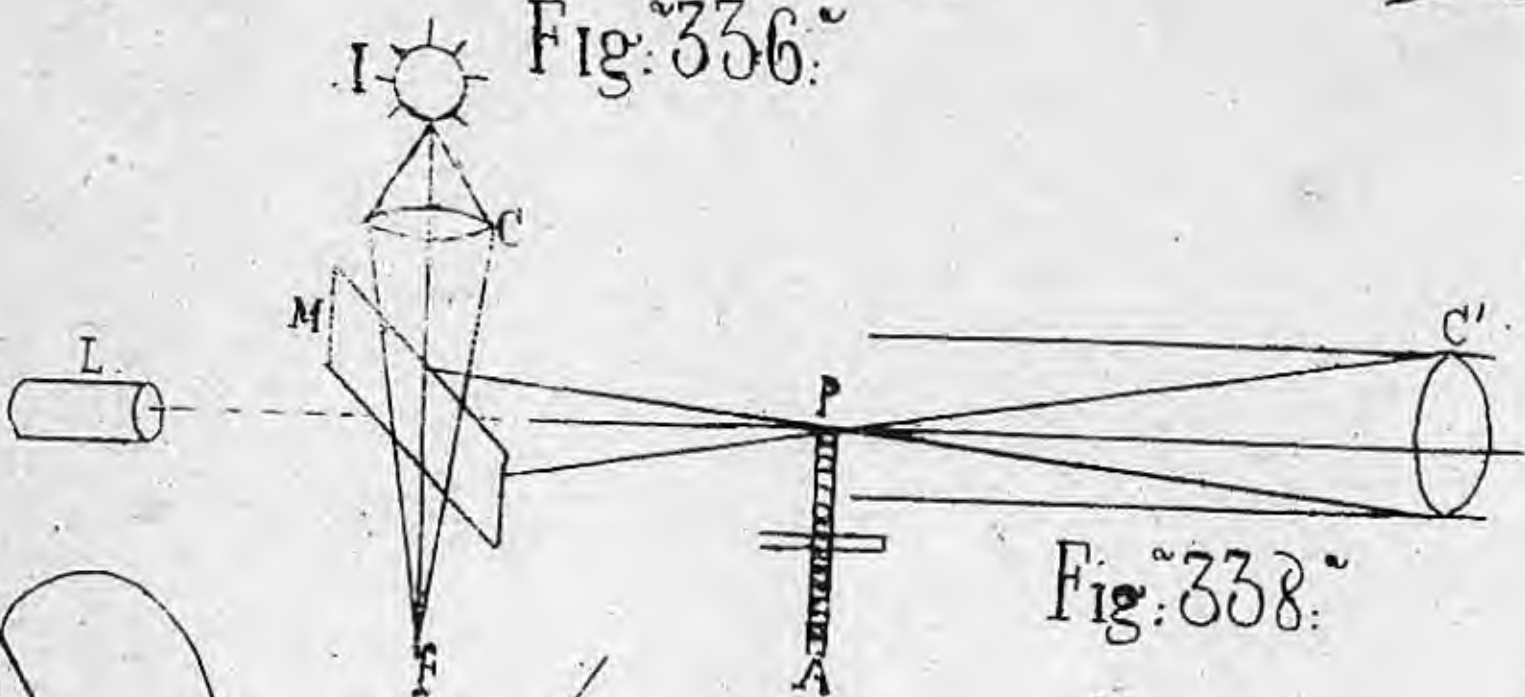
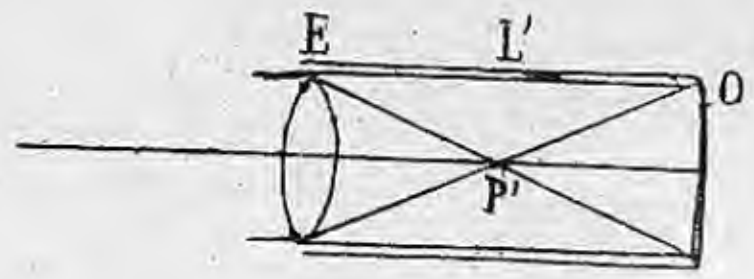
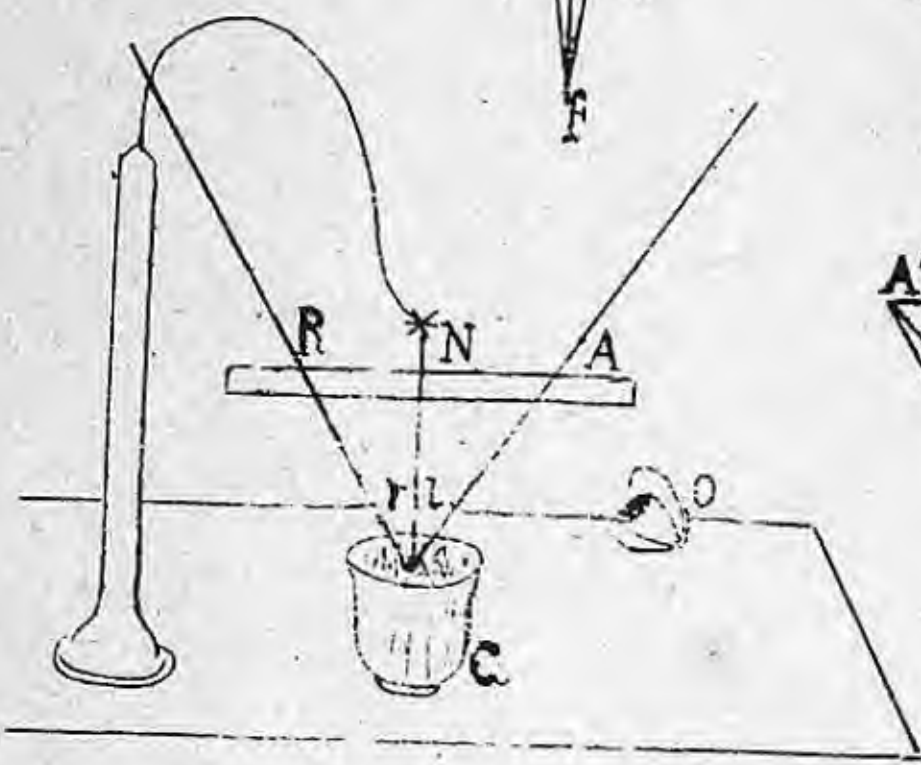
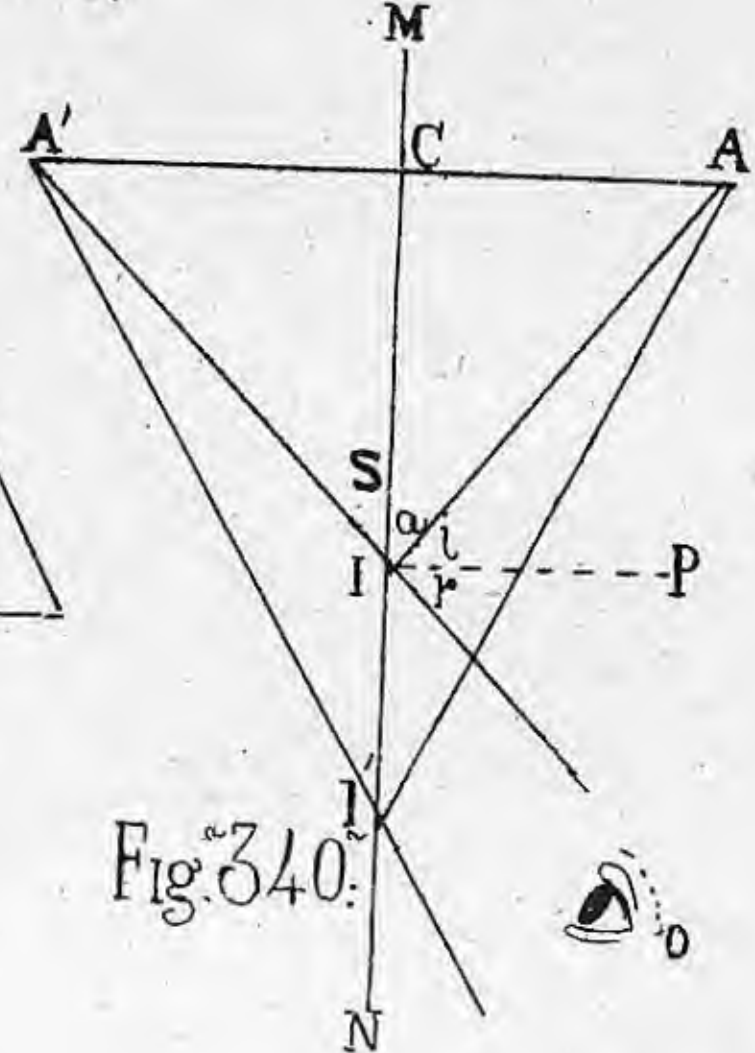
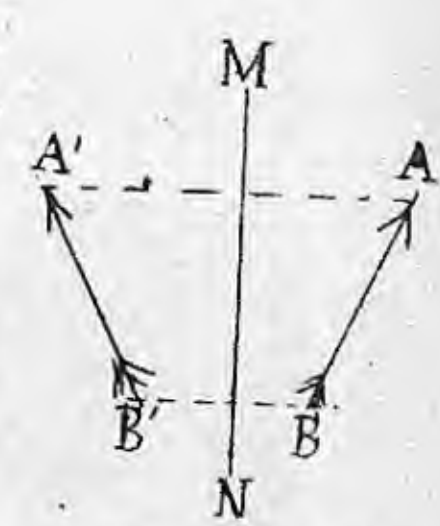
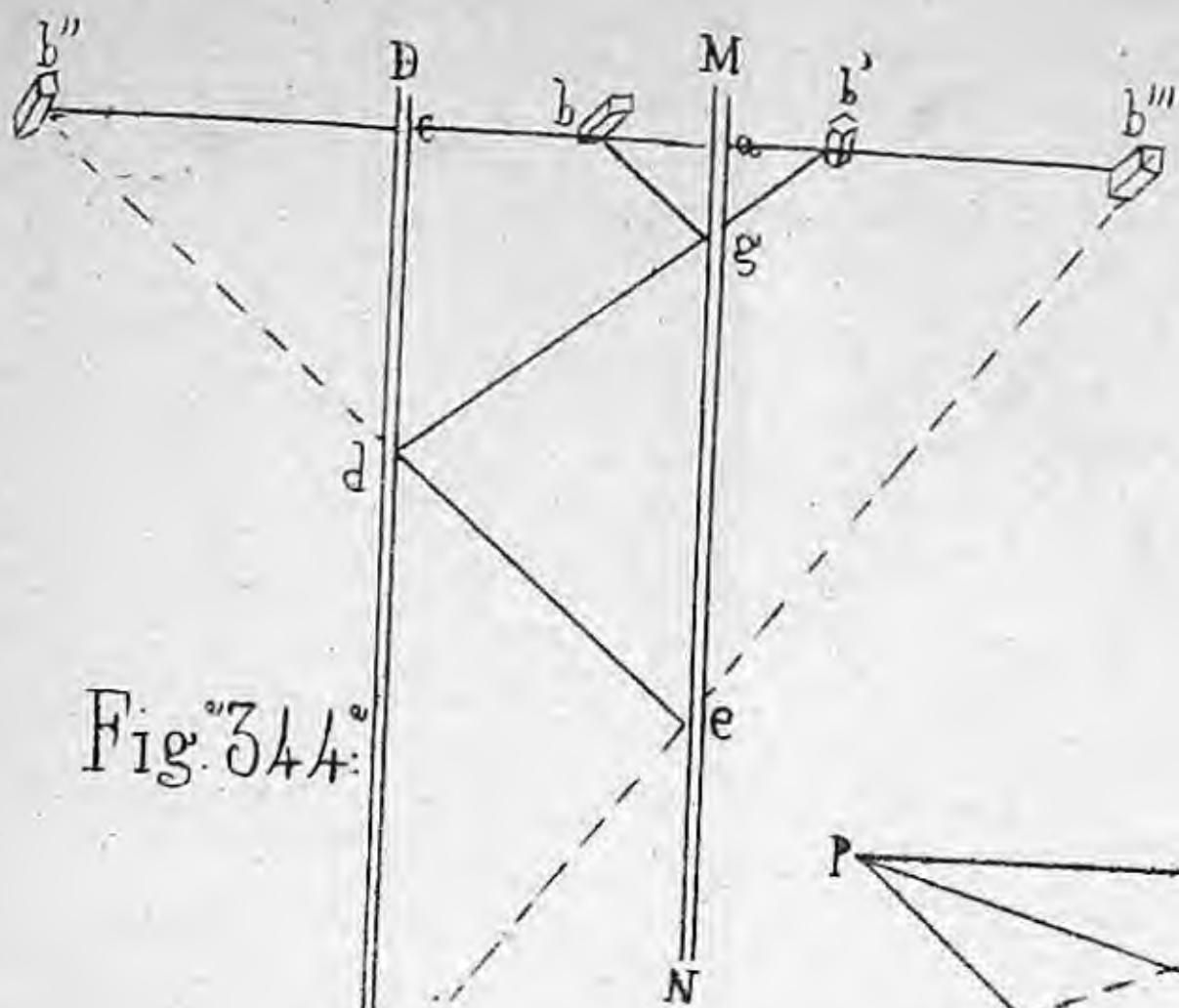
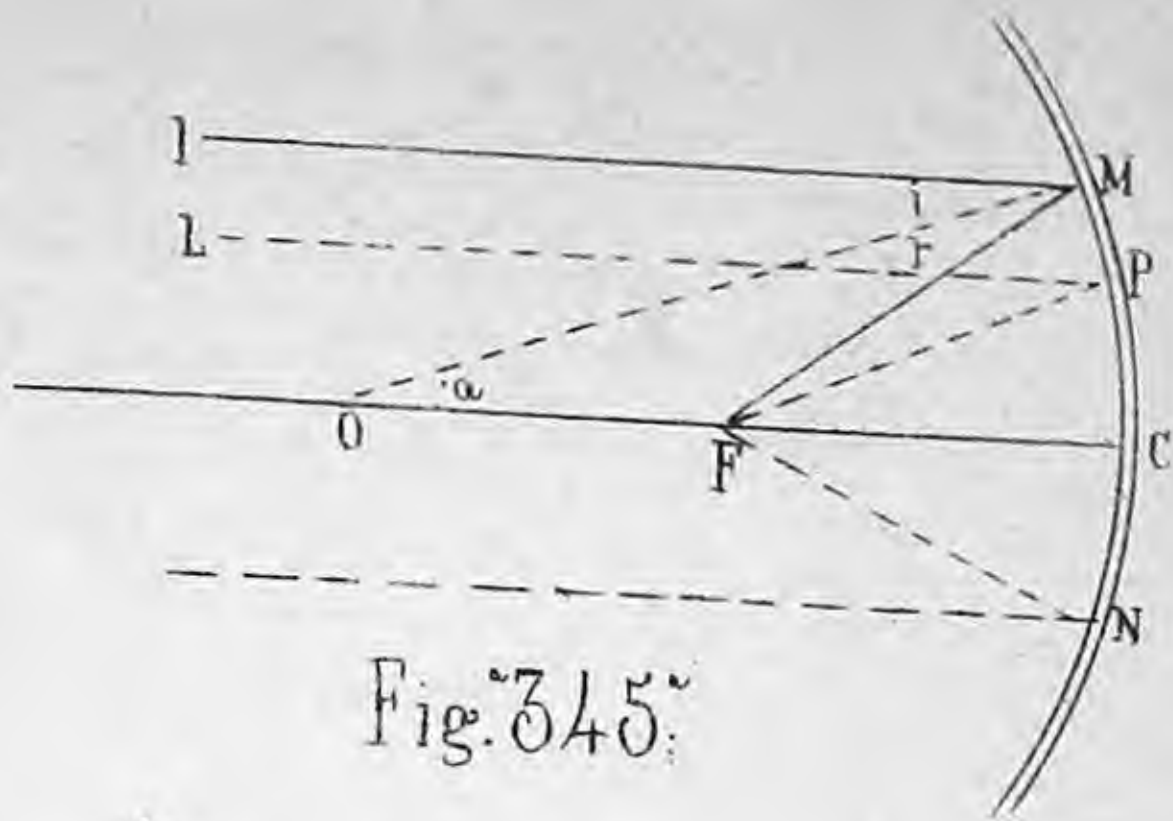
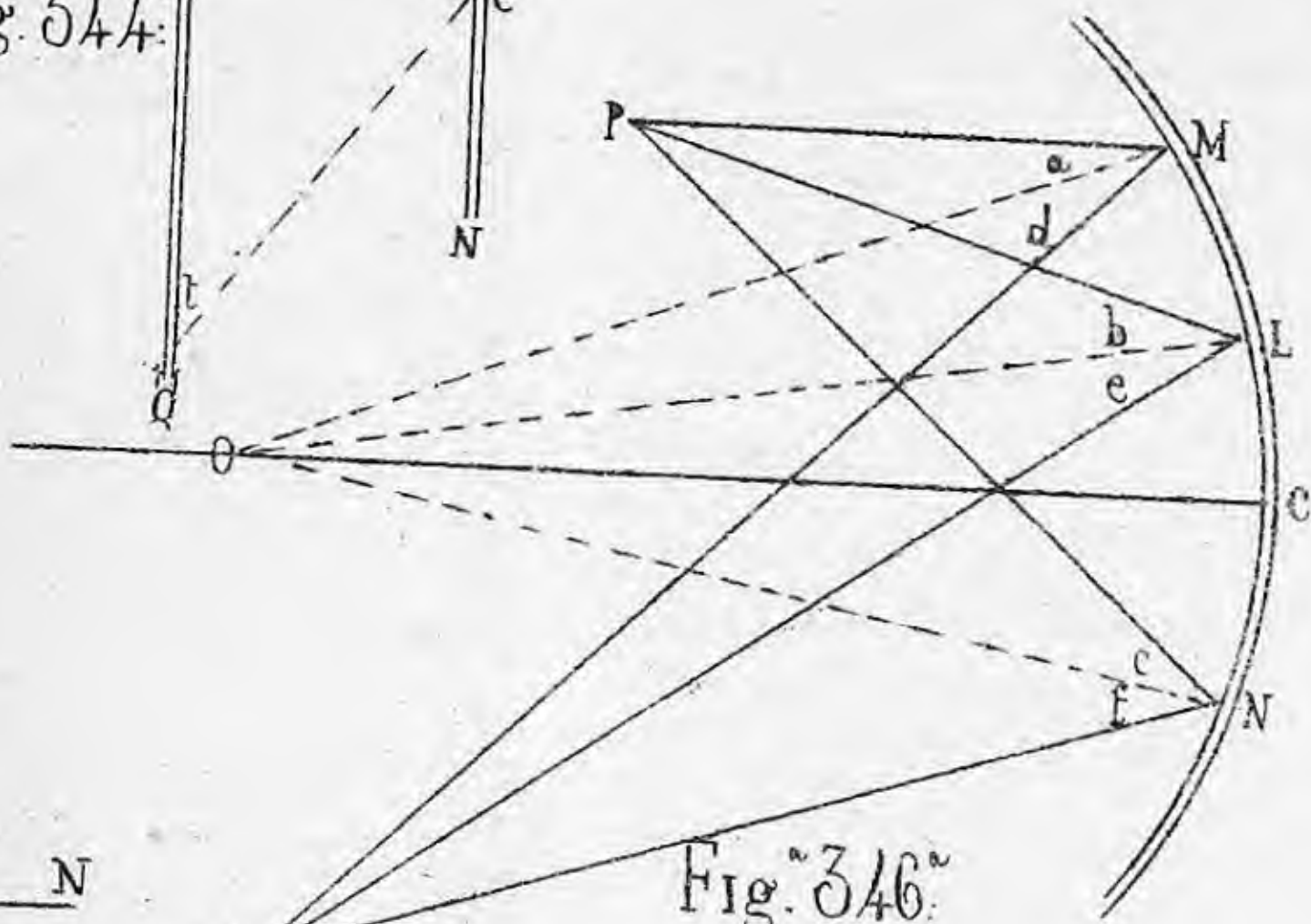



Fig. 344.

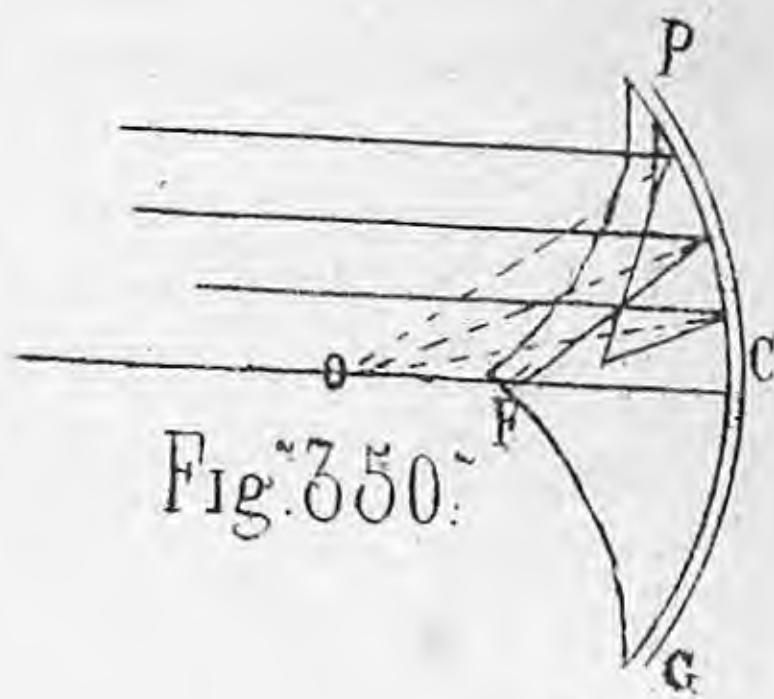



Fig. 345.

Fig. 346.

Fig. 350.

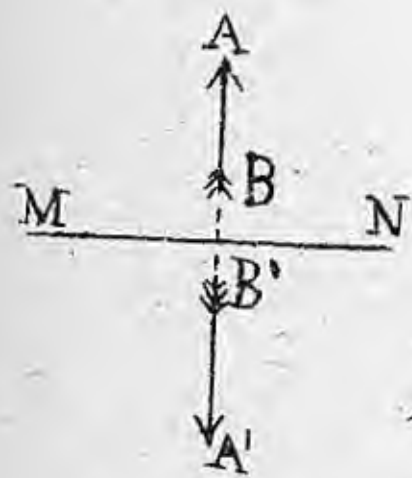



Fig. 343.

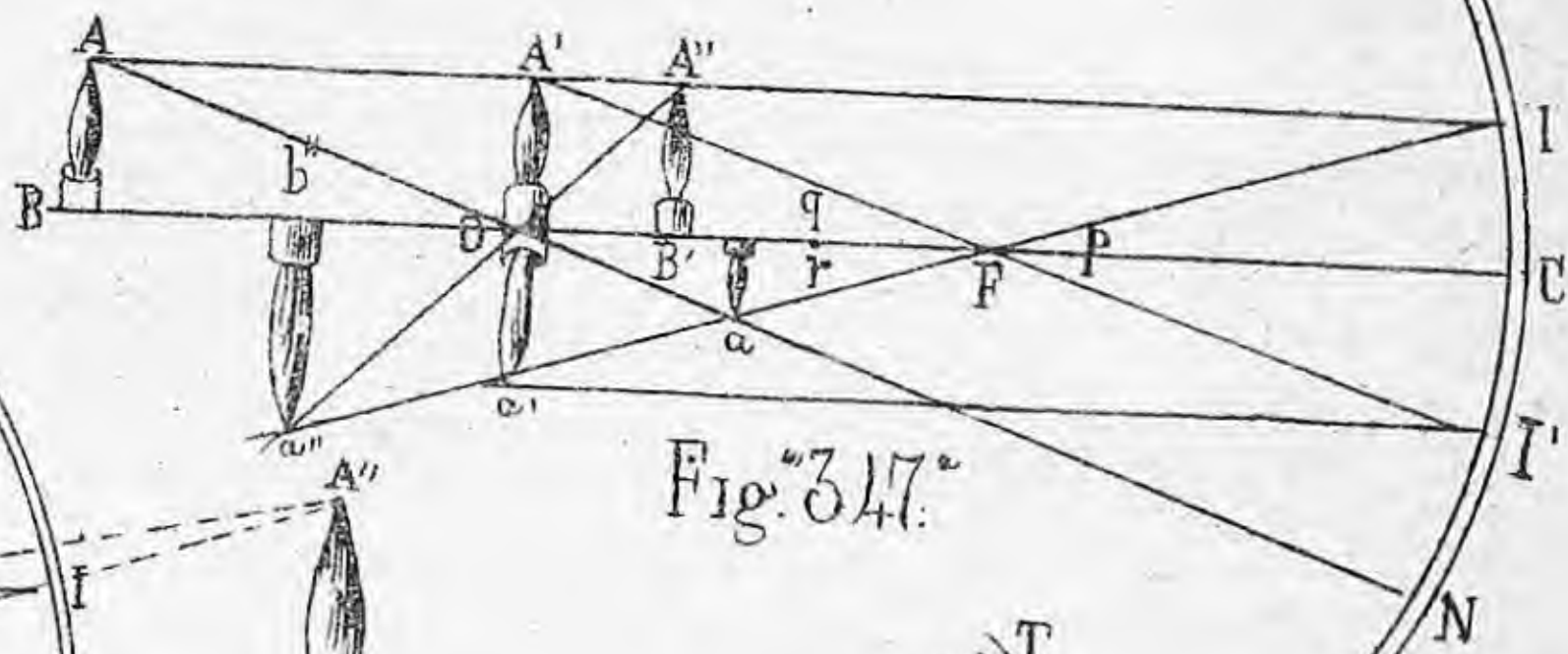



Fig. 347.

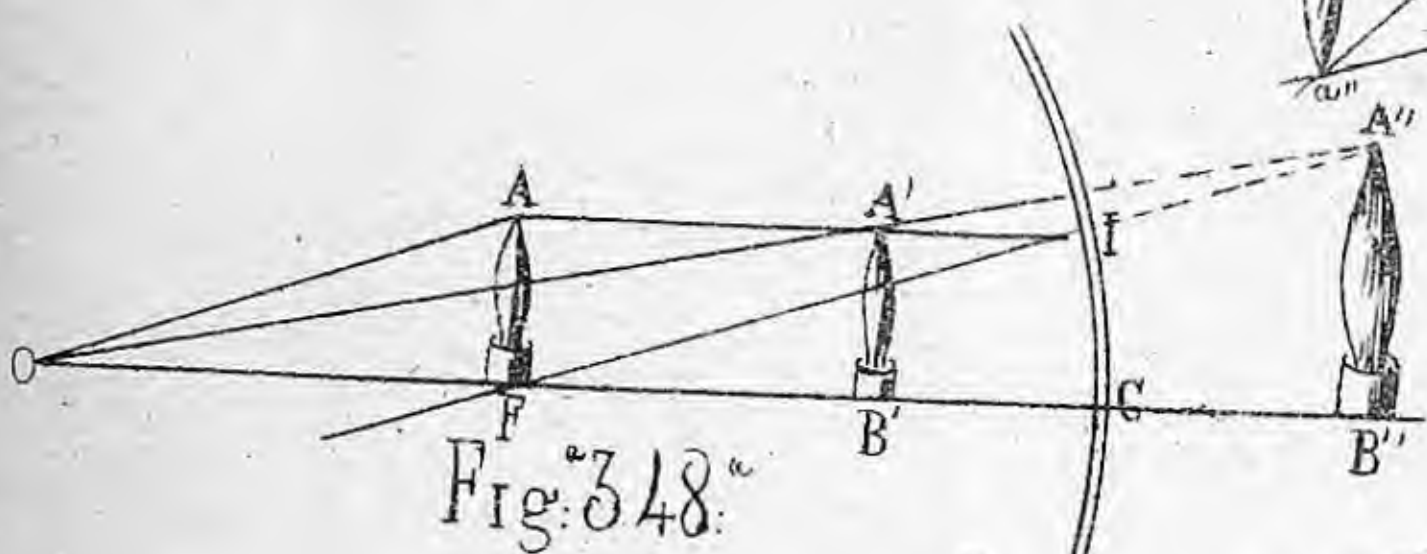



Fig. 348.

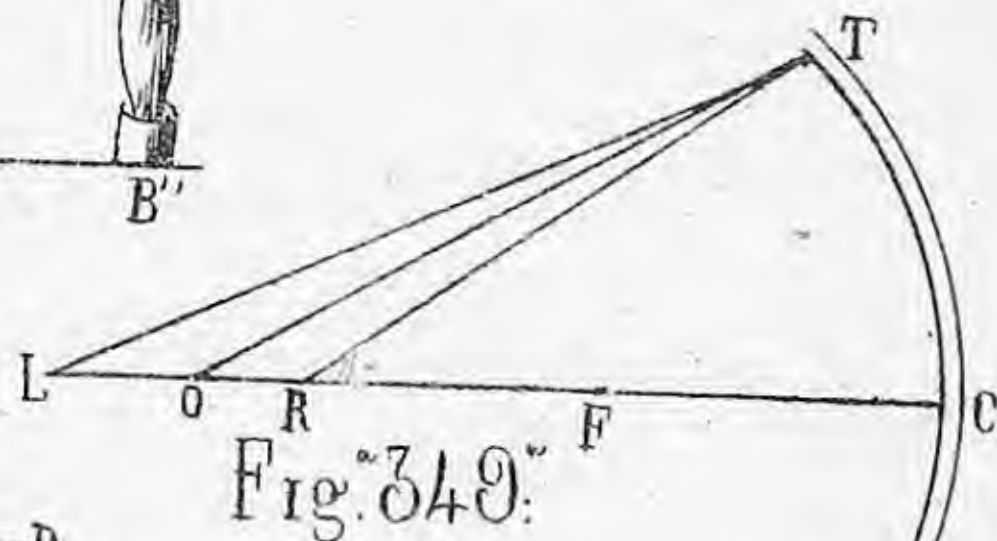



Fig. 349.

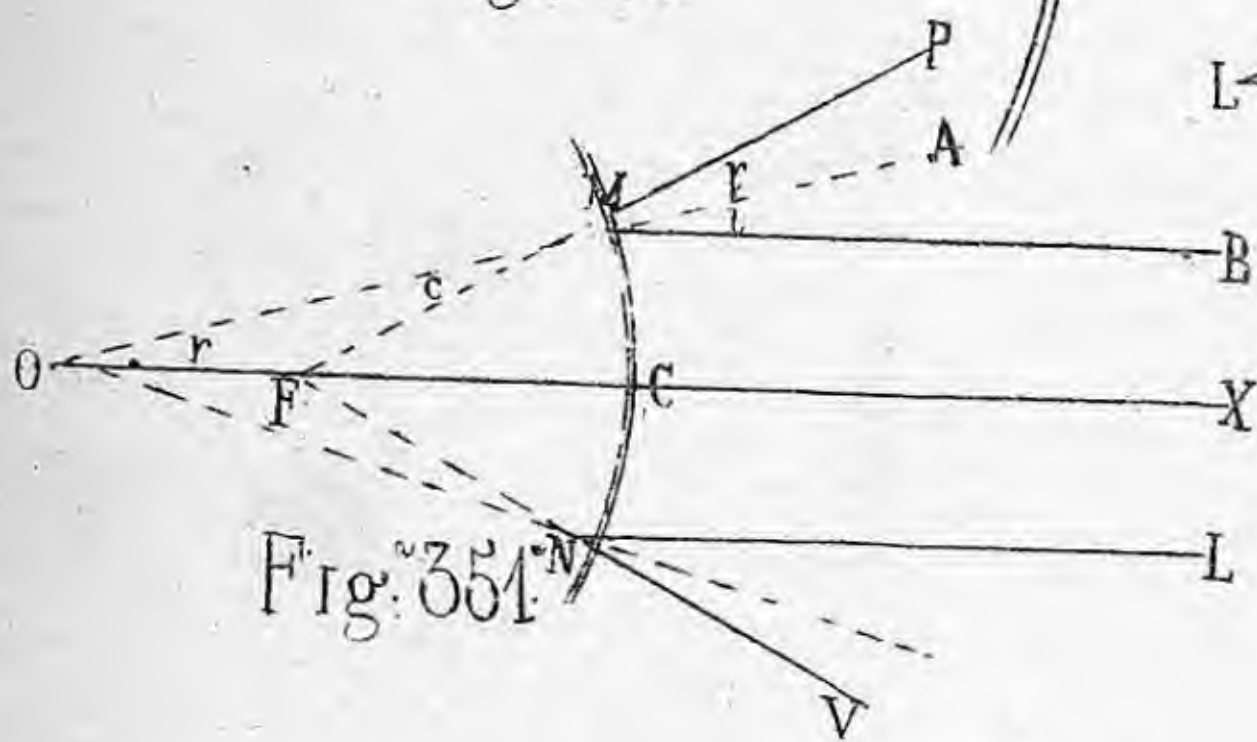



Fig. 351.

Fig. 352.

Fig. 353.

Tav.ª 36.ª

Fig.ª 354.ª

Fig.ª 355.ª

Fig.ª 357.ª

Fig.ª 355.ª

Fig.ª 356.ª

Fig.ª 358.ª

Fig.ª 359.ª

Fig.ª 360.ª

Fig.ª 361.ª

Fig.ª 362.ª

Fig.ª 363.ª

Tav.ª 37.ª

Fig.ª 366.ª

Fig.ª 365.ª

Fig.ª 364.ª

Fig.ª 367.ª

Fig.ª 368.ª

Fig.ª 369.ª

Fig.ª 370.ª

Fig.ª 372.ª

Fig.ª 373.ª

Fig.ª 371.ª

Tav.a 38.a

Fig.a 374.a

Fig.a 375.a

Fig.a 376.a

Fig.a 377.a

Fig.a 378

Fig.a 379.a

Fig.a 380.

Fig.a 381.a

Fig.a 382.

Fig.a 383.a

Fig.a 384.a

Tav.ª 39.ª

Fig.ª 385.ª

Fig.ª 386.

Fig.ª 387.ª

Fig.ª 388.ª

Fig.ª 389

Fig.ª 390.ª

Fig.ª 392.ª

Fig.ª 393.ª

Fig.ª 391.ª

Tav. 40.ª

Fig. 394.ª

Fig. 395.ª

Fig. 396.ª

Fig. 398.ª

Fig. 399.ª

Fig. 400.ª

Fig. 397.ª

Fig. 401.ª

Fig. 402.ª

Fig. 403.ª

Fig. 404.ª

Fig. 407.ª

Fig. 405.ª

Fig. 406.ª

Tav.ª 41

Fig.ª 408.ª

Fig.ª 409.ª

Fig.ª 411.ª

Fig.ª 415.ª

Fig.ª 414.ª

Fig.ª 413.

Fig. 412.ª

Fig.ª 410.ª

Tav.ª 42.ª

Fig.ª 416.ª

Fig.ª 424.ª

Fig.ª 417.ª

Fig.ª 418.ª

Fig.ª 422.ª

Fig.ª 419.ª

Fig.ª 420.ª

Fig.ª 421.ª

Fig.ª 425.ª

Fig.ª 426.ª

Fig.ª 427.ª

Fig.ª 423.ª